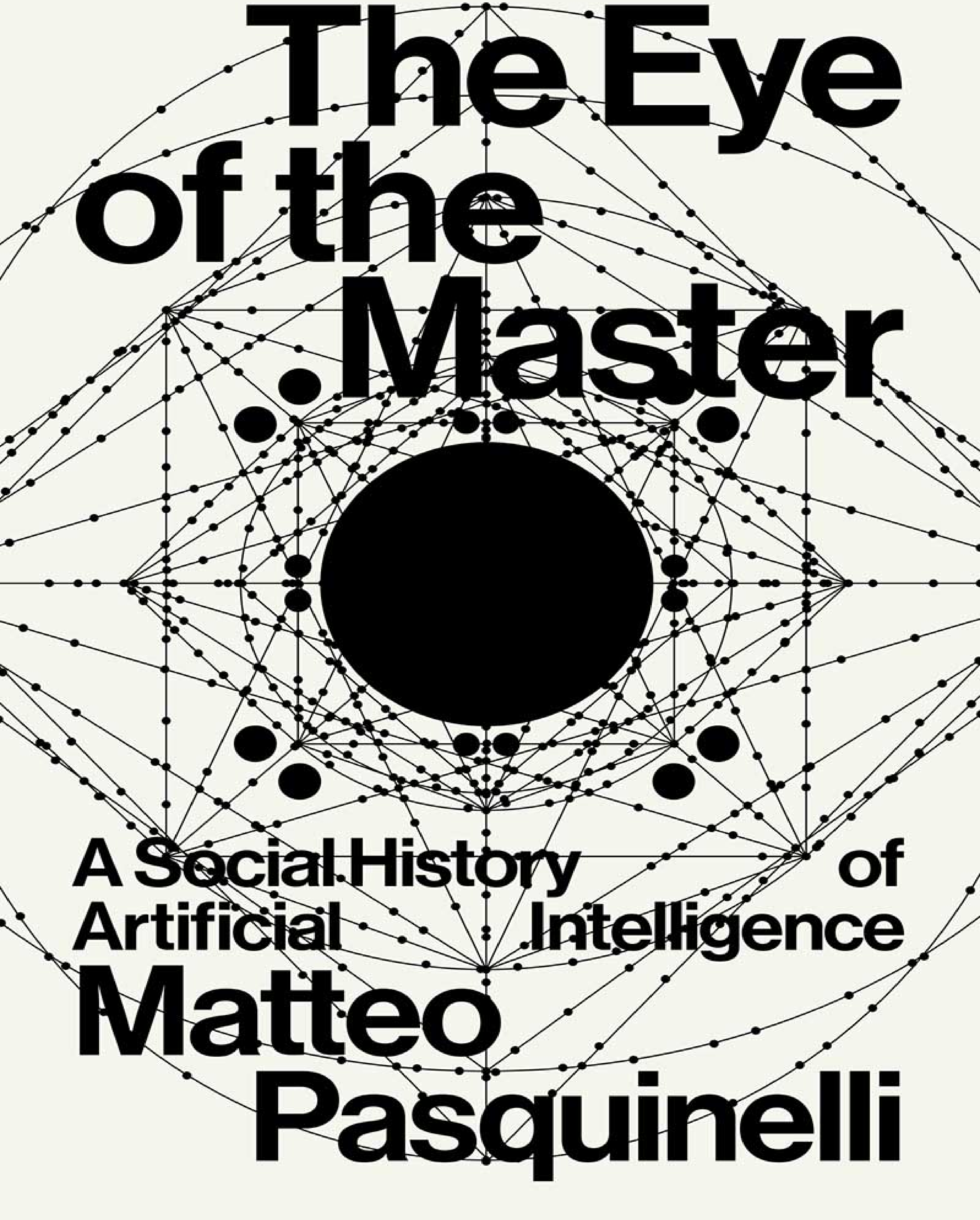
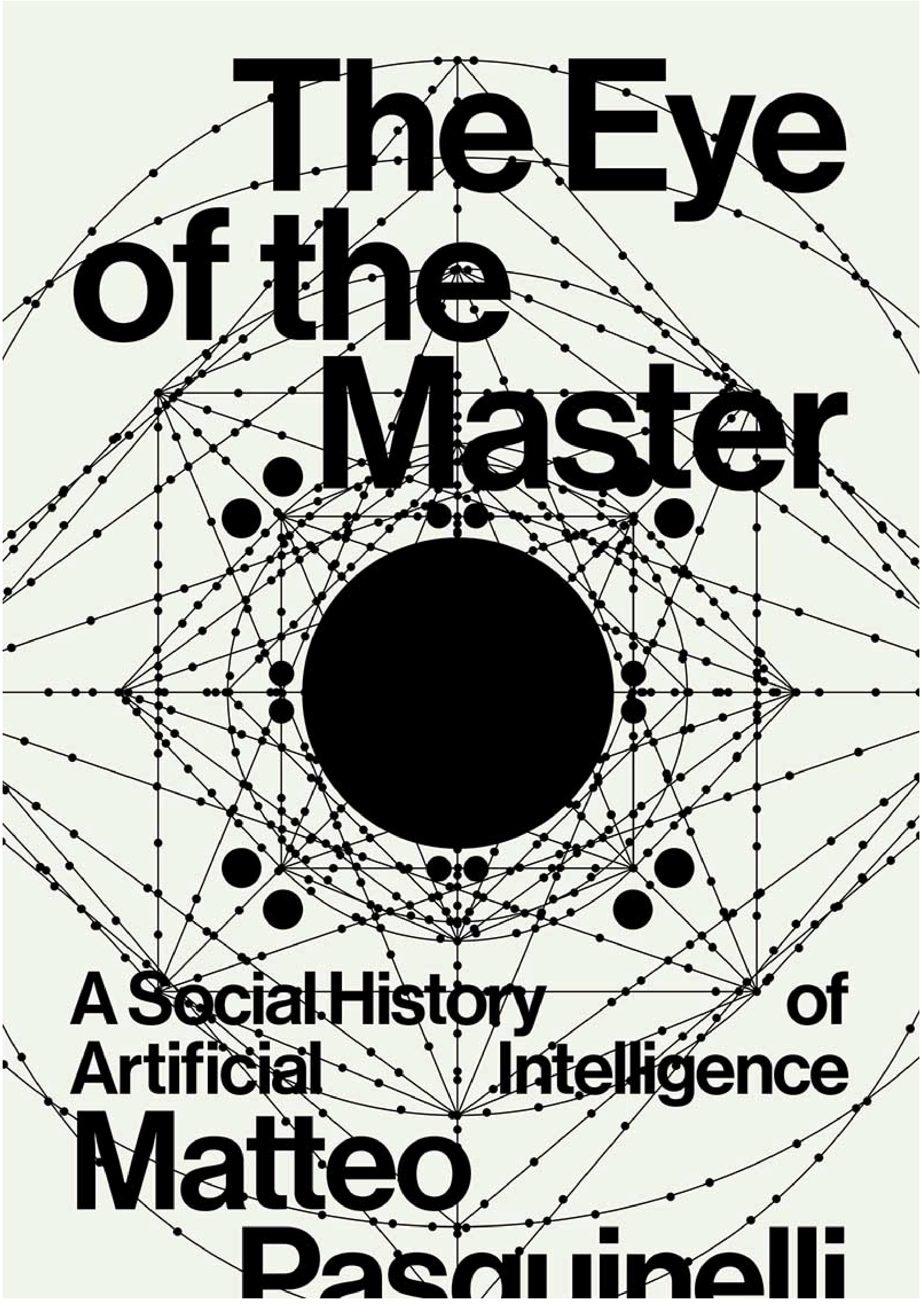
# The Eye of the Master

## A Social History of Artificial Intelligence

Matteo Pasquinelli




The Eye of the Master
A Social History of Artificial Intelligence
Matteo Pasquinelli

# The Eye of the Master

# The Eye of the Master

## A Social History of Artificial Intelligence

Matteo Pasquinelli

原作者:Mattero Pasquinelli

翻译:Claude Fable 5 模型

翻译框架:
github.com/rabbit321011/PhilosophicalWorksTranslationAgent

术语决定/框架设计/粗校对: 321哦啦啦

排版未优化，校对未仔细进行

VERSO
London • New York

First published by Verso 2023
© Matteo Pasquinelli 2023

A version of chapter 4 was published for *Radical Philosophy* issue 2.06 in Winter 2019. An earlier version of chapter 8 was published for the Berkeley University journal *Qui Parle* in Spring 2021.

All rights reserved

The moral rights of the author have been asserted

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

**Verso**
UK: 6 Meard Street, London W1F 0EG
US: 388 Atlantic Avenue, Brooklyn, NY 11217
versobooks.com

Verso is the imprint of New Left Books

ISBN-13: 978-1-78873-006-8
ISBN-13: 978-1-78873-007-5 (UK EBK)
ISBN-13: 978-1-78873-008-2 (US EBK)

**British Library Cataloguing in Publication Data**
A catalogue record for this book is available from the British Library

**Library of Congress Cataloging-in-Publication Data**

Names: Pasquinelli, Matteo, author.
Title: The eye of the master : a social history of artificial intelligence / Matteo Pasquinelli.
Description: London ; New York : Verso, 2023. | Includes bibliographical references and index.
Identifiers: LCCN 2023020753 (print) | LCCN 2023020754 (ebook) | ISBN 9781788730068 (trade paperback) | ISBN 9781788730082 (ebook)
Subjects: LCSH: Automation—Social aspects—History. | Machinery in the workplace—Social aspects—History. | Artificial intelligence—Social aspects—History. | Employees—Effect of technological innovations on—History.
Classification: LCC HC79.A9 P37 2023 (print) | LCC HC79.A9 (ebook) | DDC 338/.064—dc23/eng/20230609

LC record available at https://lccn.loc.gov/2023020753
LC ebook record available at https://lccn.loc.gov/2023020754

Typeset in Minion by Hewer Text UK Ltd, Edinburgh
Printed and bound by CPI Group (UK) Ltd, Croydon CR0 4YY

# Contents

*List of Illustrations*

Introduction: AI as Division of Labour

1 The Material Tools of Algorithmic Thinking

Part I
THE INDUSTRIAL AGE

2 Babbage and the Mechanisation of Mental Labour

3 The Machinery Question

4 The Origins of Marx's General Intellect

5 The Abstraction of Labour

Part II
THE INFORMATION AGE

6 The Self-Organisation of the Cybernetic Mind

7 The Automation of Pattern Recognition

8 Hayek and the Epistemology of Connectionism

9 The Invention of the Perceptron

Conclusion: The Automation of General Intelligence

*Notes*

*Acknowledgements*

*Index*

# Illustrations


1.1 Diagram of the Agnicayana fire altar. Frits Staal, 'Greek and Vedic Geometry', *Journal of Indian Philosophy* 27, no. 1 (1999): 111 (image rotated).

1.2 The reflective structure of abstraction. Peter Damerow, *Abstraction and Representation*, Berlin: Springer, 2013, 379.

1.3 Allegory of Arithmetic. Gregor Reisch, *Margarita Philosophica*, 1503.

2.1 Scheme for the implementation of de Prony's algorithm as division of labour. Lorraine Daston, 'Calculation and the Division of Labor, 1750–1950', *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Spring 2018): 11.

2.2 Design for the implementation of de Prony's algorithm into a mechanism. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, London: Charles Knight, 1832, 161.

2.3 Babbage's Difference Engine. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, London: Longman, Roberts & Green, 1864, front cover.

4.1 William Heath, 'The March of Intellect', ca. 1828, print, British Museum.

6.1 Sketch of artificial neurons. Warren McCulloch and Walter Pitts, ‘A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity’, *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, no. 4 (1943): 105.
6.2 Operating arm of the universal constructor. John von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata* (edited by Arthur Burks), Urbana, Il: University of Illinois Press, 1966, 371.
6.3 Diagram showing patterns of dappling and calculations. Alan Turing, ca. 1950. Sheet AMT/K3/8, Turing Archive, King’s College Cambridge, particular.
7.1 Diagram of the superior colliculus of the midbrain. Warren McCulloch and Walter Pitts, ‘How We Know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms’, *Bulletin of Mathematical Biophysics* 9, no. 3 (1947): 141.
9.1 Examples of target classification. Albert Murray, ‘Perceptron Applications in Photo Interpretation’, *Photogrammetric Engineering* 27, no. 4 (1961): 633.
9.2 Examples of target classification. Albert Murray, ‘Perceptron Applications in Photo Interpretation’, *Photogrammetric Engineering* 27, no. 4 (1961): 634.
9.3 Mark I Perceptron. Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1961, iii.
9.4 Diagram of the organisation of the Mark I Perceptron. Frank Rosenblatt, *Mark I Perceptron Operators’ Manual*. Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1960, 4.
9.5 Sketch of the simple perceptron. Frank Rosenblatt, ‘Audio Signal Pattern Perception Device’, US patent US3287649A, 1963 (expired 1983).

# Introduction: AI as Division of Labour

什么是AI？一种主导性的观点将其描述为一场"解决智能"的探求——其答案据称将在心智的秘密逻辑之中，或在大脑的深层生理机制（例如其复杂的神经网络）之中被找到。与此相反，我在本书中论证：AI的内在代码并非由对生物智能的模仿构成，而是由劳动与社会关系的智能构成。今天应该已经很清楚，AI是这样一个计划：捕获通过个体与集体行为表达出来的知识，并将其编码进算法模型，以便自动化最为多样的任务——从图像识别、物体操纵，到语言翻译与决策。正如意识形态的一种典型效应：AI之谜的"谜底"就在我们眼前，但没有人能看见它——也没有人想看见它。

让我们回到备受争议的自动驾驶汽车计划。司机执行的是什么样的工作？AI又能在多大程度上自动化这样一种活动？带着相当程度的近似与风险，自动驾驶载具被设计来模仿司机在繁忙道路上做出的所有微观决策。它的人工神经网络"学习"环境视知觉与载具机械控制（转向、加速、制动）之间的关联，以及在危险情况下须在几毫秒之内做出的伦理决策。驾驶需要不容即兴发挥的高级认知技能，但也需要快速的问题解决能力，而后者之所以可能，只是凭借并不完全有意识的习惯与训练。驾驶在本质上仍是一种社会性、协作性的活动，它既遵循成文规则（附有法律约束），也遵循自发规则，其中包括一种因地而异的默会文化代码。将如此复杂的活动加以编码被认为是困难的，就连企业家 Elon Musk 也在特斯拉汽车发生数起致命事故之后承认，"通用化的自动驾驶是一个难题"。然而，尽管有种种问题，自动驾驶载具这一工业计划已经清楚表明：驾驶任务绝不仅仅是"机械性的"。如果说驾驶技能终究能够被转译为一个算

法模型，那是因为驾驶是一种逻辑活动——因为，归根结底，一切劳动都是逻辑。[1]

那么，劳动、规则与自动化（即新技术的发明）之间是什么关系？这一纠缠正是本书试图探究的AI核心问题。但这并不是框定AI的一个全新视角。例如，科学史家 Lorraine Daston 已经在先于自动计算的启蒙时代大型计算工程中阐明了这一问题。十八世纪晚期，为了编制革命法国的现代化所必需的冗长对数表，数学家 Gaspard de Prony 想到把劳动分工（division of labour）这一工业方法（由 Adam Smith 在《国富论》中奉为经典）应用于手工计算。为此，de Prony 安排了一个社会算法（social algorithm）——一个由三组计算员构成的等级化组织，他们分担劳苦，各自完成漫长计算的一部分，最终汇成最后的结果。数年之后，在工业化的英格兰，Charles Babbage 采纳了劳动分工（division of labour）的直觉，把它作为差分机（Difference Engine）的内部原理，由此设计出现代计算机的第一个原型。重要的是，Babbage 领会到，劳动分工（division of labour）不仅是设计机器的原理，也是计算生产成本的原理（此后即以"巴贝奇原理"（Babbage principle）为人所知）。

在工业时代，监督劳动分工（division of labour）曾是工厂主宰者（master）的任务。主宰者之眼（the eye of the master），在工场中，也在营地与种植园中，长久以来监督并规训着工人，既绘制装配线的图纸，也排定强制劳动的班次。在工业机器被发明之前，城市血汗工场与殖民地庄园在其身体规训与视觉性体制上就已经是"机械性的"了。正如哲学家 Michel Foucault 所阐明的，这类规训技术——基于对时间、空间与关系的切分——的施加，为资本主义的劳动剥削体制预备了地基。与此平行，理性主义的世界观进一步帮助人们细致描述人体的运动，并起草其机械化方案。历史学家 Sigfried Giedion 在其名著《机械化统领一切》（Mechanisation Takes Command）中详述了这一进程。按照 Giedion 的说法，机械化"始于运动的概念"，继而取代手工艺，而最终，它的充分发展形态是"装配线，在那里整个工厂被整合为一个同步的有机体"。[2]

这种机械性的心态在泰勒主义中达到顶点——那是一种"科学管理"体系，力图把工人的动作精打细算到最细微的细节。的确，正如政治经济学家 Harry Braverman 曾指出的："泰勒比他那个时代的任何人都更好地理解了巴贝奇原理（Babbage principle），而且它在他的盘算中始终居于首位。"为了监视工人最细小的姿态，泰勒制体系甚至获得了电影摄影之眼：工厂的主宰者（master）变成了某种电影导演，拍摄工人以测量并优化其生产率，在某种意义上实现了媒介学者 Jon Beller 所称的"电影式生产方式"（cinematic mode of production）。泰勒主义催生了"时间与动作研究"这一学科，在同一年代，苏联革命者 Aleksei Gastev 与美国工程师 Frank 和 Lillian Gilbreth 都在从事这

一研究，后两者引入了类似的摄影技术，分别是循环摄影图（cyclogram）与时间循环摄影图（chronocyclegraph）。本书沿着这些对劳动过程的分析性研究，从工业时代一路追踪到AI的兴起，旨在表明：技术创新的"智能"（'intelligence'）往往源自对这些人类实践与集体行为之抽象图示（diagram）的模仿。[3]

事实上，当织机与车床这样的工业机器被发明出来时，靠的并不是某位工程师的孤独天才，而是对集体劳动图示（diagram）的模仿：通过捕获手部动作与工具的模式、工人技艺（know-how）中被压抑的创造力，并把它们转化为机械制品。沿着这一发明理论——它在十九世纪已为 Smith、Babbage 与 Marx 所共享——本书论证：最精巧的"智能"机器同样是通过模仿集体劳动分工（division of labour）的轮廓而出现的。在本书的行文中，这一技术发展理论被重新命名为自动化的劳动理论（labour theory of automation），或机器的劳动理论（labour theory of the machine），我随后将其扩展到对当代AI的研究，并将其普遍化为一种机器智能的劳动理论（labour theory of machine intelligence）。

对马克思而言，主宰者（master）已不再是一个个人，而是——正如本导论开篇引文所言——一种整合性的权力，由"科学、巨大的自然力，以及体现在机器体系中的社会劳动的总量"构成。正如 Émile Durkheim 在十九世纪末所记录的，在"社会分工"扩张之后，主宰者之眼（the eye of the master）也随之演化为新的控制技术，例如统计学与全球性的"资本的运作"（借用 Sandro Mezzadra 与 Brett Neilson 的贴切说法）。而自二十世纪末以来，劳动管理已把整个社会变成一座"数字工厂"（digital factory），并采取了以下软件的形态：搜索引擎、在线地图、即时通讯应用、社交网络、零工经济平台、出行服务，以及最终的AI算法——后者被日益用于将上述所有服务自动化。不难看出，今天的AI是数字社会的进一步集中化，也是对遍及全社会的劳动分工（division of labour）的统一编排。[456]

计算与"智能机器"的设计遵循劳动分工（division of labour）图式——这一论题并非离经叛道，而是从计算机科学的奠基理论那里获得了印证：这些理论从工业时代继承了一个由殖民幻想与阶级分工构成的潜文本。例如，自动计算领域备受推崇的天才 Alan Turing 本人，

就重申了一种等级制的、威权式的思维方式。在1947年的一次演讲中，图灵把自动计算引擎（Automatic Computing Engine, ACE）——最早的数字计算机之一——设想为一个集中化的装置，它以主宰者（masters）与仆役（servants）角色的等级制来编排自身的运作：[7]

> 粗略地说，与ACE相关的工作人员将被划分为它的主宰者（masters）与它的仆役（servants）。它的主宰者将为它规划指令表，构想出越来越深入的使用方式。它的仆役将在它需要时给它喂入卡片。他们将修好任何出故障的部件。他们将汇集它所需要的数据。事实上，仆役们将充当它的四肢。随着时间推移，计算机本身将接管主宰者与仆役双方的职能。仆役将被机械与电气的肢体和感觉器官所取代。例如，人们可以配备曲线跟随器，使数据能够直接从曲线上采集，而不必让姑娘们（girls）读出数值再把它们打到卡片上。主宰者也可能被取代，因为一旦任何技术变得多少有些定型，就有可能设计出一套指令表系统，使电子计算机能够自行完成这项工作。不过也可能发生这样的情况：主宰者们会拒绝这样做。他们也许不愿让自己的工作以这种方式被窃走。在那种情况下，他们就会用神秘的氛围包裹自己的全部工作，并且每当有任何危险的提议被提出时，就用精心挑选的黑话编造托词。我认为这类反应是一种非常现实的危险。[891011]

年轻图灵的这段文字把计算任务划分给"主宰者"（masters）、"仆役"（servants）与"姑娘们"（girls），其笔锋是凌厉的。它令人想起 Andrew Ure 对维多利亚时代工业工厂的哥特式描绘："一个巨大的自动机，由各种机械器官与智力器官组成，为了生产一个共同的对象而不间断地协同运作，它们全都从属于一个自我调节的动力。"与此类似，图灵想象了一个智能自动机，它在未来将能够为自身重新编程，并同时取代主宰者与仆役。然而，图灵的愿景在今天被来自全球南方的"幽灵工人"（ghost workers）大军所反驳——正如 Mary Gray 与 Siddharth Suri 所记录的，这些工人被移出视线之外，好让机器自主性的表演得以继续。对图灵而言颇具悖论意味的是，AI到头来取代的多半是主宰者（masters）、也就是管理者，而不是仆役——因为工人是被需要的（而且永远会被需要）：一方面为AI及其全球垄断企业贪婪的流水管线生产数据与价值，另一方面以内容过滤、安全审核、评估与不间断优化的形式维护这台巨型机器。正如性别研究学者 Neda

Atanasoski 与 Kalindi Vora 所指出的，像图灵那样的全面自动化与AI之梦并非中立，而是在历史上奠基于被奴役的仆役、无产者与女性的"替代性人性"（surrogate humanity）之上——正是他们以自身不可见的劳动，使自由而自主的（白人）主体这一普遍主义理想成为可能。[12][13][14]

AI 的多重历史[15]

在当前的困局中书写一部 AI 的历史，意味着必须与一个庞大的意识形态建构相清算：在硅谷公司乃至高科技大学的行列中，关于 AI 全能力量的宣传已是常态，有时甚至重复着机器达至"超人智能"与"自我意识"的民间传说。这种民间传说的典型例证，就是《终结者》式的末日叙事：其中 AI 系统将达至技术奇点，并对人类物种在这颗星球上的存续构成"生存性风险"——如未来学家 Nick Bostrom 等人所宣扬的那样。关于技术自主性与机器智能（machine intelligence）的神话并不新鲜：自工业时代以来，它们的存在就是为了神秘化工人与底层阶级的角色。正如 Schaffer 在描述巴贝奇时代的自动机崇拜时所评论的："要让机器显得智能，就必须让其力量的来源——环绕并运转这些机器的劳动力——被隐去不见。"[16][17]

撇开思辨性叙事不谈——这类叙事从不深入足够的技术细节，以澄清究竟哪种算法能够实际执行"超级智能"——另一方面，今天人们还能看到大量 AI 技术史，它们许诺解释 AI 的复杂算法。这些技术性综述往往表达着企业的期待：期待一种"主宰者算法（master algorithm）"，能以惊人的信息压缩率解决一切知觉与认知任务（因为这正是"智能"系统最终被评估所依据的、毫不浪漫的度量标准）。再一次，这些读物很少考虑自动化的历史语境与社会后果，而是勾画一部数学成就的线性历史，从而强化了技术决定论。在这些 AI 技术史之内，还应算上认知科学，因为这一领域相当大的部分实际上是在计算机科学的影响下发展起来的。Margaret Boden 里程碑式的两卷本《心智作为机器》（Mind as Machine, 2006）大概仍是把 AI 当作认知科学来写的最详尽的历史之一，它展示了这一谱系的复杂性，不过并无意识形态的狂热。

为抵抗这类狭隘的技术视角，越来越多的作者开始从工人、社群、少数群体乃至整个社会的立足点出发，处理 AI 的社会后果。这些作者质疑那些自称"智能"的算法的高

超技艺——它们实际上放大着不平等、延续着性别与种族偏见、巩固着新形式的知识榨取主义。得益于 Cathy O'Neil 的《数学毁灭性武器》（Weapons of Math Destruction, 2016）、Safiya Noble 的《压迫的算法》（Algorithms of Oppression, 2018）、Ruha Benjamin 的《技术之后的种族》（Race after Technology, 2019）、Wendy Chun 的《歧视性数据》（Discriminating Data, 2021）等诸多著作，批判性 AI 研究这一新领域正在成长。这一新学术建立在此前数十年对 AI、控制论与冷战理性的更早研究之上，其中应包括 Alison Adam 的《人工认知》（Artificial Knowing, 1998）、Philip Agre 的《计算与人类经验》（Computation and Human Experience, 1997）、Paul Edwards 的《封闭的世界》（The Closed World, 1996）、Joseph Weizenbaum 的《计算机能力与人类理性》（Computer Power and Human Reason, 1976），以及 Hubert Dreyfus 为兰德公司撰写的论文《炼金术与人工智能》（'Alchemy and Artificial Intelligence', 1965）——后者通常被视为对 AI 的第一份哲学批判。[18]

在这幅不断扩展的批判著作图景中，本书的关切在于照亮 AI 的社会谱系，并且——尤为重要地——照亮 AI 作为一种世界观与认识论被推进时所依托的立足点（standpoint），即社会阶级。在过去的一个世纪里，是不同的社会群体与权力配置塑造了信息技术与 AI。与其说是站在俗话所说的"巨人的肩膀"上，不如说早期的机械思维范式与晚近的机器智能（machine intelligence）是在不同的时代、以不同的方式，"站在"商人、士兵、指挥官、官僚、间谍、工业家、管理者和工人的肩膀上发展起来的。在所有这些谱系中，劳动的自动化一直是关键因素，但这一面向常常被一种偏爱科学"自上而下"视点的技术史学所忽视。[19][20][21]

例如，一种常见的进路相当决定论地把控制论、数字计算与 AI 的兴起，归结为二战期间及冷战时期美国军方的充裕资助。然而，晚近的研究已经澄清：这种"战争理性"的群岛相当不稳定，它培育出的博弈论与线性规划等范式，同样是为军备竞赛与军事后勤建模的关键。无论如何，国家机器对信息技术的影响早在二战的军事加速之前就已开始：信息检索与统计分析的自动化，可以追溯到把公共官僚体制与政府工作机械化的需要——至少可追溯到 1890 年美国人口普查引入霍列瑞斯机（Hollerith machine）处理穿孔卡片之时。"政府机器"（如 Jon Agar 所称）预告了数字时代大型数据中心的兴起，而后

者众所周知不仅是互联网公司的生意，也是情报机构的生意——数学家 Chris Wiggins 与历史学家 Matthew L. Jones 已对此详加考察。简言之，一百多年来，推动信息技术发展的始终是关于社会及其行为的"大数据"的积累——从霍列瑞斯的制表机直到机器学习本身。

概而言之，AI 代表着数据分析技术的延续：这些技术最初由国家机关支持，继而被情报机构秘密培育，最终由互联网公司整合为一门行星尺度的监控与预测生意。然而，这种解读再一次是一部"自上而下"的历史，它只聚焦于控制的技术，而很少关注控制所施加其上的主体。这种权力（或按 Shoshana Zuboff 的定义，"监控资本主义"）的对象，通常不被描述为自身拥有自主性与"智能"的行动者，而是被描述为测量与控制的被动客体。这是批判理论总体上的问题，也是批判性 AI 研究尤为突出的问题：尽管这些研究关切 AI 对社会的影响，它们却常常忽视集体知识与劳动的角色——而后者恰恰是 AI 前来提取、编码和商品化的那个"智能"的首要来源。不仅如此，这些研究还常常看不到社会形式与社会力量对技术发明与发展之关键阶段的贡献。一种真正的批判性介入，应当挑战 AI 作为集体智能之唯一"主宰者"（master）的这种霸权地位。意大利哲学家安东尼奥·葛兰西（Antonio Gramsci）曾针对教育的等级制主张"所有人都是知识分子"：与此类似，本书旨在重新发现那种为 AI 提供内容并赋予其力量的社会智能的中心地位。本书还提出——这是一个更激进的论题——正是这种社会智能从内部塑造着 AI 算法的设计本身。[222324]

本书意在同时切入 AI 的技术史与社会史，把这两种进路整合为一种社会技术史，从而也能辨认出影响其内在逻辑的经济与政治因素。本书不站在因循的社会建构论一边，越出社会信息学（social informatics）的开创性洞见，而是尝试把历史认识论（historical epistemology）的方法扩展到 AI 领域——这一方法曾在科学史中以不同的方式由 Boris Hessen、Henryk Grossmann、Georges Canguilhem 与 Gaston Bachelard 传播，晚近则由柏林马克斯·普朗克科学史研究所的工作等予以推进。社会建构论泛泛地强调外部因素对科学与技术的影响；与此不同，历史认识论（historical epistemology）关注的是社会实践、劳动工具与科学抽象在一种全球经济动态之内的辩证展

开。本书试图以类似的方式研究 AI 与算法思维——正如历史认识论与政治认识论曾就现代时期研究机械思维与科学抽象的兴起如何关联于社会经济发展那样。[25][26][27]

在这方面，过去几十年间，一种关于科学与技术的政治认识论也曾被女性主义理论家有力地推进，其中包括 Hilary Rose、Sandra Harding、Evelyn Fox Keller 与 Silvia Federici 等人。这些作者令人信服地解释了现代理性与机械思维（AI 也属于其中）的兴起，如何关联于女性身体、乃至一般意义上的集体身体被转化为一部生产性的、驯顺的机器。在政治认识论的诸传统中，我们还应考虑由 Braverman 的《劳动与垄断资本》（Labor and Monopoly Capital, 1974）所开创的劳动过程分析，以及意大利工人主义（operaismo）的工人调查——例如 Romano Alquati 早在 1960 年就在伊夫雷亚的奥利维蒂（Olivetti）计算机工厂进行的调查。Braverman 与 Alquati 的开创性工作影响深远，最早表明：无论是十九世纪巴贝奇的自动计算工程，还是二十世纪的控制论，都内在地关联于劳动及其组织的领域。[28][29]

作为模式识别（pattern recognition）的认知自动化[30]

把一个劳动过程转译为一种逻辑程序、继而转译为一件技术制品，这一过程很少是直截了当、毫无瑕疵的；相反，它往往呈现出混杂而实验性的品格。在这个意义上，书名《主宰者之眼》（The Eye of the Master）不仅包含一个政治类比，也包含一个技术类比。它带着几分反讽，标示出当前 AI 范式——深度学习——的两可性：深度学习并非如某些人可能以为的那样源自认知理论，而是源自旨在自动化知觉劳动（labour of perception）——即模式识别（pattern recognition）——的争议性实验。深度学习是从把 1950 年代的视觉模式识别（pattern recognition）技术扩展到非视觉数据演化而来的，这些数据如今包括文本、音频、视频以及来源五花八门的行为数据。深度学习的兴起可追溯到 2012 年，当年卷积神经网络 AlexNet 赢得了 ImageNet 计算机视觉竞赛。自那以后，"AI"一词按惯例转而指称人工神经网络这一范式——必须指出，在 1950 年代，后者实际上曾是 AI 的竞争对手（这是刻画 AI 之"理性"的诸多争议的一例）。Stuart 与 Hubert Dreyfus 在其 1988 年的文章《制造心智还是建模大脑》（'Making a Mind versus Modeling the Brain'）中阐明了这一分裂：他

们勾勒出 AI 的两条谱系——符号主义（symbolic）与联结主义（connectionist）——二者基于不同的逻辑设定，也走上了不同的命运。[31][32][33][34]

符号主义人工智能（symbolic AI）是与 1956 年达特茅斯研讨会相联系的那条谱系，John McCarthy 正是为该会议造出了"人工智能"这个成问题的术语。其关键应用是"逻辑理论家"（Logic Theorist）与"通用问题求解器"（General Problem Solver）——以及一般而言的一系列专家系统与推理引擎——它们后来被证明流于琐碎，且易陷入组合爆炸。另一方面，联结主义（connectionism）则是人工神经网络的谱系，由 Frank Rosenblatt 1957 年发明"感知机"（perceptron）所开创，它在 1980 年代末展开为卷积神经网络，并最终催生了自 2010 年代以来占据主导地位的深度学习架构。

这两条谱系追求不同类型的逻辑与认识论。前者宣称，智能是对世界的一种表征（即认识性知识（knowing-that）），它可以被形式化为命题，因而可以遵循演绎逻辑加以机械化。与之相反，后者主张，智能是对世界的经验（即技能性知识（knowing-how）），它可以被实现为按照归纳逻辑构造的近似模型。且不论企业宣传与计算主义的心灵哲学如何鼓吹，这两种范式都没有做到完全模仿人类智能。然而，机器学习与深度人工神经网络凭借其呈现多维数据的分辨能力，已被证明在模式识别（pattern recognition）技术上——并因此在众多任务的自动化上——相当成功。与那种反复讲述达特茅斯研讨会这一被过度颂扬之传奇的传统相对，本书要凸显的是人工神经网络、联结主义（connectionism）与机器学习的起源，将其作为一部更有说服力的 AI 史——关于这段历史，尤其是关于 Rosenblatt 的工作，批判而详尽的文献至今阙如。[35][36]

本书结构[37][38]

本书分为三个部分：作为方法论导引的第一章，以及分别论述工业时代与信息时代的两个历史主干部分。然而，本书并不追求一部线性的技术史与自动化史。毋宁说，每一章都可以当作研究算法实践与机器智能（machine intelligence）的一个独立"工作坊"来阅读。

第一章从一项先于一切的澄清任务出发：计算的核心概念——算法。什么是算法？在计算机科学中，它可以被定义为：一种由分步指令构成的有限程序，用以把输入转化为输出，并最大限度地利用给定资源。本章挑战这种对算法的纯技术定义，主张一种能够辨认其经济与社会根源的唯物主义批判。毕竟，同数或机制等其他抽象概念一样，算法有着漫长的历史；数学家 Jean-Luc Chabert 发现，"算法自太初以来便已存在，早在人们创造出一个专门的词来描述它们之前，它们就已存在"。通过发掘古代印度教仪式 Agnicayana 的社会数学，本章论证：算法思维与算法实践属于一切文明，而不只属于西方计算机科学的元语言。与相信心智构造完全独立的数学直觉主义和哲学直觉主义相反，本章强调，算法思维是作为一种物质性抽象（material abstraction）而出现的——它经由心智与工具的交互而产生，为的是改变世界，解决多半属于经济与社会性质的问题。本章的主论题有意立场鲜明：*劳动是第一个算法*（labour is the first algorithm）。[39][40][41]

本书的两个主干部分致力于在两个历史时代中研究机器智能（machine intelligence），并标示出相似问题系的平行发展。第一部分关注作为知识来源的劳动，以及工业时代英国脑力劳动（mental labour）的自动化。这一历史时刻通常是从体力劳动（manual labour）、资本积累和化石能源的视角得到研究的，很少有人着眼于其认知构成。第二部分则分析联结主义（connectionism）——人工神经网络学说——在1940至1960年代美国控制论圈子中的兴起。人工神经网络产生自视觉劳动（visual labour）自动化的规划（通常称为模式识别（pattern recognition）），而视觉劳动是与体力劳动（manual labour）和脑力劳动（mental labour）都不同的东西。我主张，要理解那段为二十世纪 AI 的兴起做好准备的自动化历史，就必须研究知识、脑力劳动（mental labour）与科学在十九世纪的角色。在不同的标题之下，本书的两个部分处理的是同一个问题：技术创新的诸形式与社会组织之间的关系。[42]

正如 Daston 和 Schaffer 等科学史家已经阐明的，现代计算的动力，与其到彼时的数学或自然哲学典籍中去找，不如到工业时代的工场中去找。正是在此意义上，第二章重访巴贝奇在自动计算上的开创

性实验——差分机与分析机——聚焦其经济母体，避开惯常的机器圣徒传。为了理解这些早期计算机的设计（及其"机器智能"（machine intelligence）变体），本章阐明巴贝奇劳动分析的两条原理。其第一条分析原理，即机器的劳动理论（labour theory of the machine），指出机器的设计模仿并替换先前劳动分工（division of labour）的图示。第二条，即劳动计算原理（principle of labour calculation）（通常称为"巴贝奇原理"（Babbage principle）），指出把劳动分工（division of labour）细分为小任务，就有可能精确计量并购买生产所必需的劳动量。这两条原理结合在一起，就把工业机器不仅描述为增强劳动的手段，而且描述为计量劳动的工具（以及一种隐含的度量衡（metrics））。巴贝奇把这两条原理都应用于手工计算的自动化：于是，计算的出现不仅是脑力劳动（mental labour）的自动化，也是核算其成本的度量衡（metrics）。

越出对体力劳动（manual labour）惯常的"热力学"解释，第三章指出，关于脑力劳动（mental labour）、集体智能与知识异化的精致观念，在工业时代即已被阐发出来。本章考察十九世纪政治经济学的形成与技工讲习所（Mechanics' Institute）运动之间、"智力进军"（March of Intellect）运动与"机器问题"（Machinery Question）（一场围绕技术性失业、激荡英国社会的论辩）之间的思想流转。本章从相对的两个角度，扩展前文对巴贝奇劳动分析与发明原理的反思。一方面，它表明早在二十世纪的知识社会理论家之前，William Thompson 和 Thomas Hodgskin 等李嘉图派社会主义者就已提出一种劳动的知识理论（knowledge theory of labour）。另一方面，它敦促人们承认工业机器与仪器对自然知识之发展的影响，从而扩展出一种科学的机器理论（machine theory of science）。"机器智能"（machine intelligence）这一表述在此讨论中最终获得至少四重含义：人类关于机器的知识、机器设计所体现的知识、被机器自动化的人类任务，以及机器的使用所开启的关于世界的新知识。

第四章聚焦巴贝奇与工业时代政治经济学的另一根支柱卡尔·马克思之间的关系——这一关系至今仍缺乏研究。与本书其他各章一样，本章探究知识如何嵌入物质行为与人工制品之中，并以这一透镜重读马克思的理论。在《大纲》（Grundrisse）的一个著名片段中，马克思预言，知识（或他所谓的"一般智力"（general intellect））在机器中的不断积累，将瓦解资本主义积累的规律并导致其最终危机。尤其得益于1989年之后意大利工人主义（operaismo）的阐释，这段非正统的文字（后被重新命名为"机器论片段"（Fragment on Machines））在几代学者与行动者那里获得了广泛接受，被视为对知识经济、互联网泡沫破裂或 AI 兴起的预言。本章在数十年的猜测之后，揭示了"一般智力"（general intellect）这一观念的出处——马克思最早是在 William Thompson 的著作 An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth（1824）中遇到它的。更重要的是，本章解释了这一概念为何随后在马克思的《资本论》中消失。在 Thompson 那里，马克思找到了知识良性积累的观念，但也找到了这样一个论点：知识一旦被机器所异化，就会与工人为敌。而正是在巴贝奇那里，马克思找到了另一种理论，用以化解知识与科学在工业经济中的暧昧角色。在《资本论》中，马克思用"总体工人"（general worker, Gesamtarbeiter）这一物质性形象取代了围绕"一般智力"（general intellect）的乌托邦期待——总体工人是扩展了的劳动协作的另一个名字。作为一种连接人与机器的超级有机体，总体工人（general worker, Gesamtarbeiter）的形象在本书中标记着向控制论时代及其自组织（self-organisation）实验的过渡。作为通往第二部分的过渡，第五章简要概述劳动从工业时代到控制论时代的转型，澄清其分岔为抽象能量（abstract energy）与抽象形式（abstract form）（即信息（information））。

第二部分聚焦作为当前 AI 系统之主要谱系的联结主义（connectionism）（避免重复关于控制论、信息论和符号主义人工智能（symbolic AI）的已知文献）。第六章从一个遭到忽视的视角——即关于有机体与机器之自组织（self-organisation）的研究（就连 Boden 在其卷帙浩繁的 AI 史中也未曾注意）——来框定人工神经网络的兴起。自组织（self-organisation）理论如今在物理学、化学、生物学、神经科学和生态学中广为流行，但在二十世纪中叶引发自组织

（self-organisation）之争的，是控制论，而非某门自然科学。本章阐明了对联结主义（connectionism）的巩固有所贡献的自组织计算诸范式——尤其是 Warren McCulloch 与 Walter Pitts 最初的神经网络构想（1943–47）、John von Neumann 的元胞自动机（1948），以及 Rosenblatt 的"感知机"（perceptron）（1957）。本章考察控制论的自组织（self-organisation）理论如何也是对社会技术变迁的回应。正如此前诸世纪机械论思维的其他变体那样，控制论把那些已然属于周围社会之技术构成的组织形式，投射到大脑与自然之上。一个关键的例子是电报网络：它在十九世纪被用作神经系统的类比，在二十世纪被用来形式化神经网络——更不用说图灵机本身了。[43]

第七章把 McCulloch 与 Pitts 的人工神经网络构想回溯到已被遗忘的格式塔之争（Gestalt controversy）：这场论辩争论的是，人类知觉是否是一种可被分析地表征、因而可被机械化的认知行为。机器学习教科书通常重复说，McCulloch 与 Pitts 受到大脑神经生理学的启发，却对这场思想交锋视而不见。事实上，正是在这些论辩的余波之中，"格式塔知觉"（Gestalt perception）一语才在军事与学术出版物中逐渐演变为众所周知的"模式识别"（pattern recognition）。格式塔之争（Gestalt controversy）是一块由未解问题构成的认知化石，对它的研究有助于理解深度学习所继承的形式与界限——具体而言，就是纠缠了二十世纪技术科学的知觉与认知、图像与逻辑之间的未解对立。Part IPart II

第八章澄清新自由主义经济学家 Friedrich Hayek 在巩固联结主义（connectionism）过程中所扮演的暧昧角色。在1952年的《感觉秩序》（The Sensory Order）一书中，哈耶克提出了一种联结主义（connectionist）的心智理论，其先进程度已远超1956年达特茅斯研讨会所产出的那些 AI 定义。在这部著作中，正如 McCulloch 与 Pitts 也曾提议的那样，哈耶克推想了一种机器的可能性：它可以实现与"作为分类工具的神经系统"相似的功能。哈耶克以与控制论者相似的方式研究心智的自组织（self-organisation），但服务于一个不同的议程：不是工业自动化，而是市场的自主。

第九章聚焦 AI 历史上最重要却最少被研究的插曲之一：Rosenblatt 在1950年代对"感知机"（perceptron）人工神经网络的发

明。尽管有其局限，感知机（perceptron）仍构成计算史上的一个突破，因为它第一次把一种统计分析技术自动化了；正因如此，它被铭记为第一个机器学习算法。作为技术形式，感知机（perceptron）宣称模仿生物神经网络。但作为数学形式，它表达的是另一套戏法：为了解决模式识别（pattern recognition），它把图像的像素表征为多维空间中相互独立的坐标。耐人寻味的是，多维投影这一统计方法起源于十九世纪末的心理测量学与优生学领域，并且与 Charles Spearman 在颇具争议的智商（IQ）测试实践中用来评估"一般智能"（general intelligence）的技术如出一辙。这是 AI 之社会谱系的又一证明：第一个人工神经网络——感知机（perceptron）——的诞生，所自动化的并非逻辑推理，而是一种统计方法，而这种方法原本被用来测量认知任务中的智能，并据此组织社会等级。

结论部分考察的是：AI 的运作原理其实不只是劳动自动化，还包括通过自动化施加体力劳动（manual labour）与脑力劳动（mental labour）的社会等级。从十九世纪到二十世纪，工业资本主义的"主宰者之眼"（eye of the master）延伸到整个社会，施加了新的控制形式，其中也包括基于对"智能"（'intelligence'）的统计测量、把工人区分为不同技能等级的做法。例如，按照美国心理学家 Lewis Terman 的说法，这正是智商测试的直接应用之一；他在1919年宣称："智商在75或以下者通常属于非熟练劳动阶层，75到85尤其是半熟练劳动的区间，而80或85对于在某些种类的熟练劳动中取得成功已绰绰有余。" AI 延续着这一进程：通过间接施加一种智能的度量衡（metrics），对社会等级进行编码，并在劳动力内部实施区别对待。AI 系统臭名昭著地放大的阶级、性别与种族偏见，不应仅仅被视为一种技术瑕疵，而应被视为资本主义语境中自动化的一种内在歧视特征。AI 偏见的影响并不限于社会压迫：它还导致劳动等级与知识等级的隐性施加，强化就业市场中熟练工人与非熟练工人的两极分化。对传统工作岗位被 AI 系统替代的研究，应当与对全球经济中不稳定、低薪、边缘化工作的置换与增殖的研究一并进行。在这一视野中，AI 与幽灵工作（ghost work）显现为同一机制——劳动自动化与社会心理测量（social psychometrics）——的两面。[44]

Part II归根结底，本书提出自动化的劳动理论（labour theory of automation），不仅将其作为一条分析原则，用以拆解 AI 垄断的"主

宰者算法"（master algorithm），而且将其作为一条综合原则：作为一种社会自主的实践，服务于新的知识生产形式与新的发明文化。

1

The Material Tools of Algorithmic Thinking[45]

我们"心智"工具的力量，因我们"金属"工具的力量而放大。[46]

Jeannette Wing，'Computational Thinking'（《计算思维》），2008[47][48]

使用一件物质工具时，能从中学到的，总比投入其发明中的知识更多。

# 1

# The Material Tools of Algorithmic Thinking

我们"心智"工具的力量，因我们"金属"工具的力量而放大。

Jeannette Wing，'Computational Thinking'（《计算思维》），2008[1]

使用一件物质工具时，能从中学到的，总比投入其发明中的知识更多。

Peter Damerow & Wolfgang Lefèvre，'Tools of Science'（《科学工具》），1981[2]

规则在能被机器实际执行之前，就已经变得机械化了。

Lorraine Daston，'Algorithms before Computers'（《计算机之前的算法》），2017[3]

## 重新拼合一位被肢解的神

在吠陀（Vedas）的一则创世神话中，据说至高神 Prajapati 在创造宇宙的行为中被击碎成片。创造之后——这与西方关于掌控的叙事以及不矛盾律相悖——造物者的身体被发现散落而支离破碎。这则古老神话至今仍在印度以 Agnicayana 仪式重演，其中印度教信徒通过建造

火祭坛 Syenaciti 象征性地重新拼合神的碎裂身体（见图1.1）。Syenaciti 祭坛的铺设方式是：依照一套精细的、勾勒出猎鹰轮廓的几何方案，排列一千块形状与尺寸精确的砖块。工人们铺成五层、每层200块砖，同时诵念专门的曼陀罗（mantra）并遵循分步指令。每一层必须保持相同的面积与形状，但采用不同的排布——这正是解开作为仪式关键之谜的所在。最后，这座猎鹰祭坛必须朝向东方，作为重构之神朝向初升太阳象征性飞翔的前奏——这是以几何手段实现神性重生的独特范例。fig. 1.1[4]

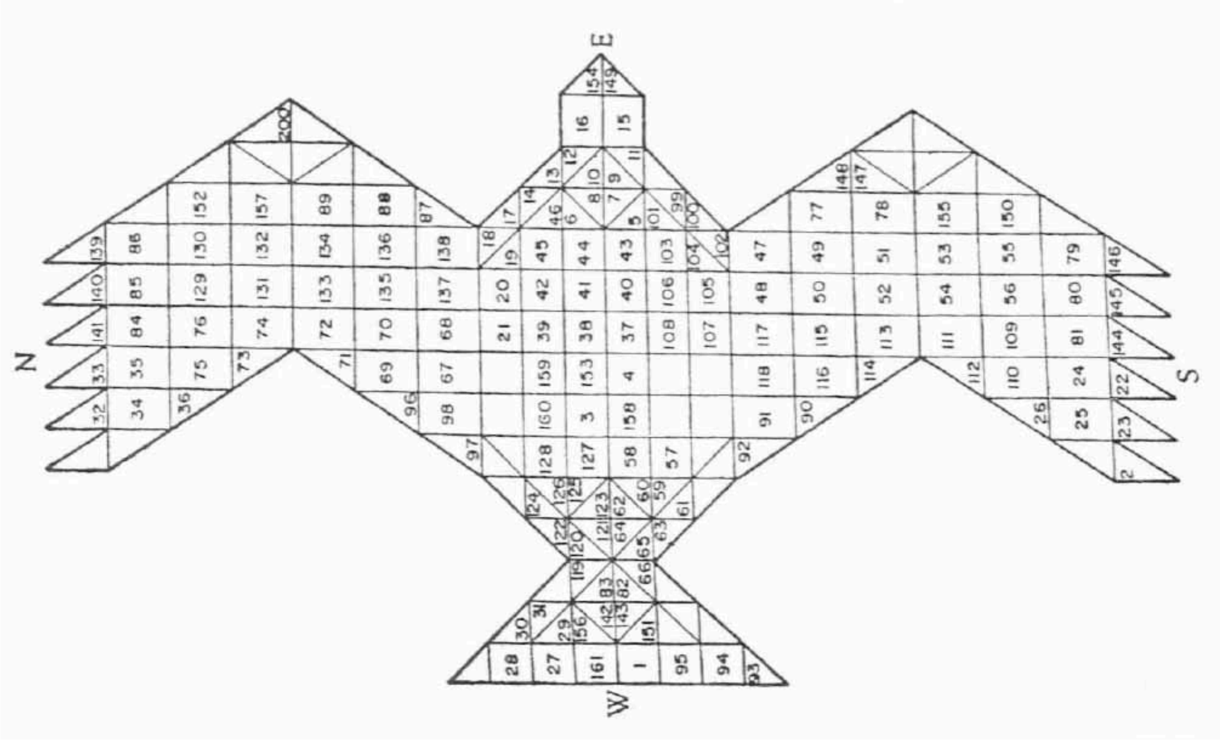



图1.1。Agnicayana 火祭坛示意图。Frits Staal, 'Greek and Vedic Geometry', Journal of Indian Philosophy 27, no. 1 (1999): 111（图像经旋转）。

Agnicayana 在吠陀专论几何的附录《绳法经》（Shulba Sutras）中有细致描述；《绳法经》约于公元前800年在印度编成，但它所记录的却是一种古老得多的口传传统。经中叙述，rishi（生命精灵）创造了七个方形的 purusha（宇宙存在），它们共同组成一个单一的身体，而 Prajapati 的复杂身体正是从这一简单构型演化而来。《绳法经》教授建造其他特定几何形状祭坛的方法，以求得诸神的庇佑。例如它建议：'凡欲摧毁现有及未来敌人者，应建造菱形的火祭坛'。超出

宗教象征之外，Agnicayana 仪式与《绳法经》总体上其实还承担着向当时社会传递实用技术的功能，比如如何规划一项建造，以及如何在保持原有比例的同时扩建现有建筑。Agnicayana 既例证了数学知识本源上的社会物质性，也例证了种姓制度所特有的体力劳动（manual labour）与脑力劳动（mental labour）等级。在祭坛的建造中，工人们受一套规则驱动，而这套规则传统上只由某一特定群体的主宰者（masters）所掌握并传承。除了几何练习之外，Agnicayana 这类仪式还教授一种程序性知识（procedural knowledge），它不仅是抽象的，而且基于持续的'机械式'操练；这再一次指向宗教作为精确性动因的作用，同时也指向精神修炼作为规训劳动之手段的作用。[56789]

Agnicayana 是人类文明史上一件独特的造物：它是人类有文献记载、至今仍在实践的最古老仪式——尽管由于其复杂性，一个世纪中也只举行寥寥数次。在这漫长的时间里，它传递并保存了精密的知识范式，而由于其组合式机制，它可以被界定为算法文化（algorithmic culture）的一个原初范例。但人们究竟怎么能把一个像 Agnicayana 这样古老的仪式解读为算法式的呢？计算机科学中对算法（algorithm）最常见的定义之一如下：一套有限的分步指令程序，用以将输入转化为输出，独立于数据，并对给定资源作最优利用。在火祭坛工地上引导工人的那些递归式曼陀罗（mantra），确实可能类似于计算机程序的规则：独立于语境，Agnicayana 算法组织起一种精确的砖块分布，每一次都产出 Syenaciti 的建成。历史学家发现，印度数学自古以来主要就是算法式的，意即一个问题的解答是通过分步程序而非逻辑证明来提出的。[101112]

类似地，意大利数学家 Paolo Zellini 论证说，Agnicayana 仪式所显示的是一种比单纯服从刚性规则更为精妙的技术，即递增逼近（incremental approximation）这一启发式技术。众所周知，吠陀数学先于其他文明就已熟悉无穷大与无穷小的数：古代经文早已将印度体系的位值数码乘至巨大规模，以表示宇宙的浩瀚维度（这样一种思辨性演练，若用苏美尔、希腊、罗马数字的加性体系则无法实行）。吠陀数学还熟悉无理数，比如平方根，它在许多情形下（如√2）只能通过逼近来计算。《绳法经》的曼陀罗吟诵着关于计算程序（类似于所谓的巴比伦算法）最古老（也最迂腐）的阐释，用以逼近平方根的

结果。与我们的数学函数和几何定理的精确性相比，逼近程序也许显得笨重、脆弱且不精确，但它们在数学与技术史中的作用比通常所认为的更为重要。在他关于递增式增长技术（其中包括古老的日晷法等）的历史研究中，Zellini 论证说，古印度的递增逼近（incremental approximation）技术等价于莱布尼茨与牛顿微积分的现代算法，甚至等价于人工神经网络与机器学习核心处的纠错技术——而后者构成了当前的 AI 范式（见第九章）。[13]

在某些人看来，用硅谷最新技术的范式去解读古代文化，或在民族主义猖獗的时代去研究宗教仪式的数学成分，可能像是一种挪用之举。然而，声称抽象的知识技术与人工元语言唯独属于现代工业化的西方，不仅在历史上是不准确的，而且是一种针对其他地方、其他时代之文化的隐性认识论殖民主义行为。得益于民族数学、去殖民研究以及科学技术史的贡献，各种替代性的计算形式如今得以在全球北方（Global North）霸权及其知识榨取体制之外被承认与研究。由于算法在计算机编程中的角色，它们通常被视为在抽象层面对复杂规则集的应用；恰恰相反，我在此论证，算法——即便是 AI 与机器学习那些复杂的算法——都发源于社会与物质活动。算法思维与算法实践，广义上理解为基于规则的问题求解，一直是一切文化与文明的组成部分。[14]

沿着这些探究路线，本章勾勒一部临时性的算法史，依次概略考察：（1）社会算法（social algorithms），即体现在仪式与实践中、往往以口头传承而未被形式化为符号语言的程序；（2）形式算法（formal algorithms），即用以辅助计算与行政运作的数学程序，例如中世纪以来的欧洲以及在此之前的印度所见者；（3）自动化算法（automated algorithms），即从西方工业时代开始将形式算法实现于机器与电子计算机之中。

## 算法的考古学

考察'计算机之前的算法'这一想法，不出意料，最早来自计算机科学领域。1960年代末，美国数学家 Donald Knuth 撰写了颇具影响力的《计算机程序设计艺术》（The Art of Computer Programming），并

在《古巴比伦算法》（'Ancient Babylonian Algorithms'）等论文中，为发掘数学技术的深远时间作出了重要贡献。在那些年里，Knuth 的使命是将计算机科学领域系统化，使之成为一门受人尊敬的学术学科。古代算法的证据被调动起来，以强调计算机科学并非关于晦涩的电子装置，而是符号操作之文化技术（cultural techniques）这一悠久传统的一部分。然而在此情形下，对算法的考古并非为了论证普遍主义的思维原则，或论证学习贯穿文明史的解放潜能，而是为了计算机程序员与制造商这些新阶层的特定利益：

> 让计算机科学赢得尊重的方式之一，就是表明它深植于历史之中，而不只是一种昙花一现的现象。因此，转向现存最早的涉及计算的文献，并研究人们在近4000年前如何处理这一主题，是很自然的。中东的考古发掘出土了大量含有数学计算的泥板，我们将看到，这些泥板为早期'计算机科学家'的生活提供了许多有趣的线索。[15]

Knuth 观察到，今天会被界定为代数或分析式的数学公式，巴比伦人早已通过分步程序即算法加以描述。这些程序当然是用日常语言的词语表述的，尚未采用数学的符号元语言。Knuth 的研究证实了这样一个假说：基于程序的方法（他称之为'机器语言'）先于数学作为符号表征之元语言的定型：

> 巴比伦数学家并不局限于加、减、乘、除的运算过程；他们擅长求解多种类型的代数方程。但他们没有像我们这样透明的代数记号；他们把每个公式表示为一份用于求值的分步规则清单，即用于计算该公式的一个算法。实际上，他们使用的是公式的'机器语言'表征，而非符号语言。[16]

Knuth 意图将算法从计算机科学与工程的时代中解放出来，以便追溯性地使之成为文化史的一个宽广主题。这发生在1960年代，正如历史学家 Nathan Ensmenger 所强调的，当时计算机科学在美国仍在艰难争取成为一门正当学科的地位。这一资格之所以成为可能，是通过将算法而非信息确立为其核心概念——后者是欧洲的做法（参见作为计算机科学名称的德语 Informatik、法语 informatique 与意大利语 informatica）。算法的这种经典化对科学技术史学家而言尤为重要，因为它是从其原初的专业环境内部推进的：计算机器的操作者，作为新一代脑力劳动者（mental workers），着手撰写他们自己的技术史——而他们显然是依据其工作所体现的逻辑形式来撰写的。[17]

对算法史前史的重构（或可称之为算法的"考古学"）在数学界也是一个不断复兴的关切。其中，法国数学家 Jean-Luc Chabert 贡献了一部堪称典范的综合之作，其视野同样越出了计算机科学的学科边界：

> 算法自太初以来便已存在，远在人们为其铸造专门语词之前便已如此。算法不过是一组按部就班的指令，可以相当机械地加以执行，以达成某个预期的结果……算法并不限于数学……巴比伦人用它裁决法律要点，拉丁文教师用它校正语法，而在一切文化中，人们都曾用它预卜未来、裁定医疗方案或烹制食物……因此我们会说配方、规则、技艺、过程、程序、方法等等，把同一个词用于不同的情境。例如，中国人便同时在数学与武术中使用"术"（shu，意为规则、过程或谋略）这个词……最终，算法一词逐渐意指任何系统化计算的过程，也就是可以自动执行的过程。今天，主要由于计算技术的影响，有限性的观念已作为一个本质要素进入算法的含义之中，将它与过程、方法或技艺等较为含混的概念区别开来。[18]

在这一解读中，算法同样不是晚近才出现的技术抽象，而是一种极为古老的技艺——它先于人类心智所设计的许多工具和机器。于是，这些历史化的努力促使我们重新考量算法，将其视为人类的一种基本的文化技术（cultural techniques）：它从集体实践与仪式中逐渐生成，而这些实践与仪式在时间上非常接近一切文明的构成性、原初性特征。总而言之，算法应当被补入文化史家 Thomas Macho 在一段常被征引的文字中所开列的那份技术清单：

> 文化技术（cultural techniques）——诸如书写、阅读、绘画、计数、奏乐——总是比从中生成的概念更为古老。人们早在将书写或字母表概念化之前就已书写了很久；图画与雕像问世数千年之后，才产生了图像的概念；而直到今天，人们唱歌、奏乐仍可以对音调或乐谱记谱系统一无所知。计数同样比数的概念更古老。诚然，大多数文化都曾计数或执行某些数学运算；但它们并不必然由此推导出一个数的概念。[19]

关于文化技术（cultural techniques）的研究（德语作 Kulturtechniken，亦可译作"文明的技术"）强调了物质实践在一切文明符号形式的形成中所起的作用。然而，这种开放而多元的视角往往忽略了去研究这一朝向抽象的演化的成因，结果对本属更深层的现象作出了文化主义的解释。例如，Chabert 在其算法史中便把计算技术的兴起与经济需要联系起来："小学里的基本算术运算——乘与除——似乎源于极为早期的经济需要，肯定早于使用文字的文明的出现。"尽管就遥远的过去概括历史发现总是困难的，但经济问题——例如资源匮乏或剩余的状况——看来正处于计数与数学技术的起源之处。值得

记起的是——这里绝无重温先祖饥荒之意——"数"（number）一词来自拉丁语 numerus，即"一份食物"。[2021]

早在数学与几何作为学科建制之前，古代诸文明就已经是庞大的社会切分"机器"，用种种抽象在人的身体与领土上打下标记，而这些抽象在其后数千年间持续运作。人们熟知并反复提及：最早有记载的人口普查之一由巴比伦人组织，大约发生在公元前3800年；但历史同样记载，这些"文化技术（cultural techniques）"也是非人道而冷酷的。借助历史学家 Lewis Mumford 及其将古代社会描述为"巨机器"（megamachines）的论述，Gilles Deleuze 与 Félix Guattari 列举了数之外的、社会秩序赖以建立的其他抽象技术。他们认为，在古代文明中，控制"生产力……的权力就寓于这些操作之中：文身、切除、刻痕、雕镂、瘢痕、致残、圈围与入会启蒙"。数与计数工具正是这些原始抽象机器的组件，后者通过领土化与切分锻造了人类诸文明。数，正如抽象规则与启发式实践一样，是古代社会行政管理的关键工具，但它们并非凭空发明：它们是经由劳动与仪式、经由规训与操练，作为一种权力形式在物质层面上生成的。[22]

数学抽象与物质生活之间的这种内在关联，甚至连 Ernst Cassirer 这样一位新康德主义哲学家也没有忽视——他对德语国家的文化研究影响颇深。在 Cassirer 看来，数的"符号形式"（symbolic form）产生于人的身体与其环境的关系，产生于身体作为最初计算媒介的偶然使用："正是通过可枚举的物质事物——无论语言对这些事物最初的表象是多么感性、具体和有限——语言才发展出蕴含于数之中的新形式与新的逻辑力量。"在分析空间与时间知觉时，Cassirer 把数的抽象的起源追溯到劳动的节奏性活动。承接 Karl Bücher 的开创性著作《劳动与节奏》（Arbeit und Rhythmus, 1896）及其他人类学研究，Cassirer 指出，数的符号形式生长自劳动歌的习俗——也就是以歌唱来维持劳动的节奏：[23]

> 人们曾试图把诗歌的开端追溯到那些最初的原始劳动歌：在其中，人在自身身体运动中感受到的节奏第一次被——可以说——对象化了……每一种体力劳动，尤其是集体进行的体力劳动，都会引发一种特定的动作协调，这种协调进而导致劳动阶段的节奏性组织与分节……研磨与摩擦、推与拉、按压与踩踏：每一种都以其自身的节奏与音质相互区别。在形形色色的劳动歌中，在纺工与织工、打谷者与桨手、磨坊工与面包师等等的歌声里，我们仍能以某种直接性听到：一种由劳作性质所决定的特定节奏

> 感，只有当它同时在声音中被对象化时，才能够持存并进入劳动之中……无论如何，语言只有通过与某些内容、某些基本的节奏经验相结合，才能获得对时间与数这两种纯粹形式的意识；而在这些节奏经验中，这两种形式仿佛是在直接的具体化与融合之中被给予的。[24]

这项研究可以被视作对音乐史核心处的柏拉图主义数字论的一记回应：在数被用来度量节奏的比例之前，劳动的节奏就已参与了数的发明。归根结底，这些发现为数学史投下了别样的光亮，以至于人们至此不免要猜想：算法实践甚至比数的概念本身还要古老。

## 用于建构数学观念的工具

数往往被视为某种既定之物、本原且基本的东西，不由任何别的东西构成，也不是任何先在概念制造的产物。数看起来是不言自明的、永恒的、非建构的。这种关于数概念的柏拉图式、直觉主义式的看法，遭到了数学史家的批评，他们尤其关心解释记数技术是如何产生并演化的。特别是考古学家倾向于认为，数的确立不可能是一个先验范畴，因为人类使用材料与符号工具的活动见证了它的逐步演化：如前所述，计数似乎正是从计算和解决实际问题的需要中产生的，比如在人口中平等地分配土地与自然资源。

在这些研究抽象的考古者当中，我们遇到了德国科学史家 Peter Damerow，他曾广泛研究过诸多器物，其中包括被用作计数工具的古巴比伦泥板。Damerow 得出结论：数的观念并不是一种先验知识形式，而是"受历史发展所制约的"。

> 早在古代，对数及其性质的反思就导向了这样一种信念：关于数的命题具有一种特殊地位，因为它们的真理性既不依赖于经验，也不依赖于历史情境。在一条从毕达哥拉斯学派，经由古代、晚期古代与中世纪的柏拉图传统，再经由康德与新康德哲学的理性主义与批判唯心论，直至当代逻辑实证主义与建构主义的历史传统中，这一信念一直被视为一种证明：存在着某些对象，我们可以先验地获得关于它们的知识。就像一个不断复现的主导动机，数在本性上是非历史的、普遍的这一确信，贯穿于整部哲学史。人们提出了各式各样的理由来解释这一令人困惑的现象。然而，历史学家所面对的事实却是：数的技术与算术洞见拥有一段历史，这段历史至少在表面上与我们文化中其他成就毫无二致。鉴于历史所记载的算术技术之多样，我们几乎无法否认这样一个假设：数概念——与人类认知的大多数结构一样——是受历史发展所制约的，而这一发展在历史进程中使它经受实质性的变化。[25]

此外，通过与考古学发现的接触，Damerow 认识到"数的产生看起来是多重学习过程的结果"。学习成为 Damerow 研究中的核心概念，他借此解释人类文明的形成及其演化。对 Damerow 而言，学习是人类与自然、与世界相互作用的过程，这一过程由劳动、工具和语言所中介，处于一种不断进行的抽象过程之中。然而，学习并不是为抽象而抽象的过程，而是一种集体性的解放与赋权手段。这一社会性的学习过程是如何发生的呢？[26]

Damerow 主张，学习立足于"心智模型"的建构，而这些模型从根本上表征并内化外部行动。在这些被内化的心智模型之上，还可以在"元认知构造"的层层搭建（scaffolding）中建立起更高层次的抽象。这种连续不断的抽象层层搭建是理性解放的一种形式，但事情往往是：某些层次最终被感知为形而上学的、与其他层次相分离的。按照 Damerow 的说法，认知搭建的较高层次制造出一种去物质化抽象与先验范畴（比如数概念）的幻象。然而，这一理论中真正具有决定性的，并不仅仅是对先验幻象的解释，而毋宁是"心智运算......如何反映对真实对象的行动"，以及反过来，工具如何帮助建构心智模型：[27][28]

> 逻辑一数学概念并不是直接从认知对象中抽象出来的，而是从这些概念所施加于其上、并由此在某种程度上被转化的那些行动的协调中抽象出来的。依据这一假设，逻辑一数学思维之心智运算的产生，立足于对真实行动系统的内化。被内化的行动是元认知构造的出发点，通过这些构造，它们成为可逆心智转化系统的要素——沿用皮亚杰（Piaget）的术语，我们在此将其称为"运算"。由此，诸如数概念这类由反思性抽象（reflective abstraction）所生成的元认知构造，就可以被理解为心智运算之内在表征的不变量，而这些心智运算反映着对真实对象的行动。这就解释了诸如数概念这类构造那令人困惑的先验性质。[29]

为解释数概念在整个历史中的形成，Damerow 提出了一种符号学模型与认知模型的层层搭建，它逐步展开：从计数实践（这些实践是启发式的、未形式化的，比如用手指来算数），到记数系统（在一个符号矩阵中表征数量），到计算技术（表达算法或通过操纵符号来解决问题的程序），最终到数论（即作为形式学科的算术）。按照 Damerow 的说法，这一过程并非线性的，而是通过表征（把对象和记号当作其他对象、记号与观念的符号来使用）与抽象（解决问题）的交替运动而展开的。

Damerow 运用了兼合黑格尔辩证逻辑与皮亚杰（Jean Piaget）发生认识论的反思性抽象（reflective abstraction）观念，勾勒出符号表征的递进阶段（见图1.2），在其中，从一个表征层级到下一个层级的过渡，是经由一个问题的解决而发生的。按照 Damerow 的说法：fig 1.2

> 一阶表征是以符号或模型对真实对象所作的表征，这些符号或模型允许对它们施加与对真实对象本身所能施加的、本质上相同的行动或运算……二阶及更高阶的表征，则是以符号及符号转化规则对心智对象所作的表征，而这些符号转化规则对应于隶属于构成该心智对象之认知结构的心智运算。[30]

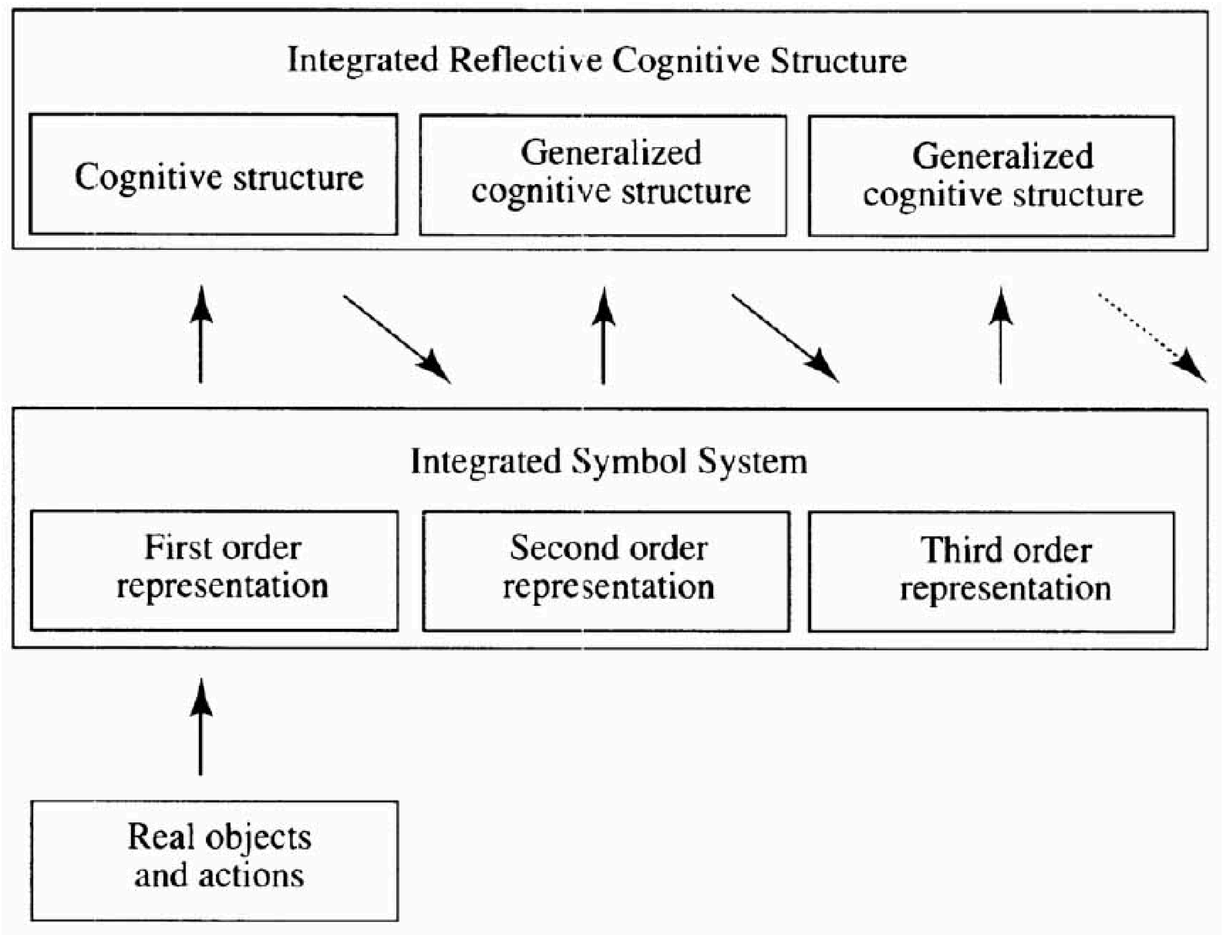



图1.2。抽象的反思性结构。Peter Damerow, Abstraction and Representation, Berlin: Springer, 2013, 379。

于是，数概念是通过符号表征与抽象的循环而发展起来的。首先，是基于等价而不涉及计数的量化与比较过程。随后，计数作为一种依赖语境的活动出现，它借助手指、石子之类的辅助手段。此后，这些计

数装置被依赖语境的符号所取代（比如古美索不达米亚用于交易的泥球[bullae]上的记号）。接下来，脱离语境的符号被引入，即现代意义上的数。最后，算术作为一门学科出现，用自然语言词汇来描述数及其运算，而这些词汇最终又被新的符号所取代。[31]

要弄清这种分析是否也能应用于作为一种解决问题实践的算法形式，此时就有必要澄清 Damerow 的抽象观念。追随黑格尔与皮亚杰，Damerow 把抽象理解为这样一个过程：在其中，物质性与反思，即工具与认知，相互交织并共同演化：

> [反思]这一概念是[由黑格尔]在《耶拿实在哲学》中引入的，用以把作为"反思性活动"的劳动，与作为"纯粹中介"的活动区分开来——后者不过是借助对欲望之对象的毁灭来满足欲望而已。把作为"反思性活动"的劳动同作为"纯粹中介"的活动区分开来的，是其物质手段、其工具的持存，正是在这些工具中，作为理念目的与物质对象之统一的活动，把自身物质地对象化了……在黑格尔逻辑中所建构起来的、感性给定与中介性活动的统一，即作为反思之结果的被中介的直接性，不仅构成一个假设性—理论性的构造，而且这一统一实际上以无数形式在对象性活动的物质手段中被创造出来。[32]

对 Damerow 而言，抽象并不是把某一给定结构中最突出的特征孤立出来，而是就一个待解决的问题产生新知识：抽象不仅仅是对某个问题的"优雅解答"，而是"一种指向某个目的或目标的活动"，其中包含对环境的偶然性理解：[33]

> 一种常见的看法是，抽象意味着不去使用某个给定真实对象上可得的信息，转而孤立出某些属性并独立地处理它们。但是，如果用这一抽象概念来把握数学思维的发展，它就暴露出自身的不能令人满意之处。这种意义上的抽象，无法解释数学思维显然会产生的那种新知识的结果。此外，这一抽象概念使人不可能、或至少难以理解：为什么某些抽象被证明极为有用，而通过任意孤立数学对象之属性所可能产生的那庞大数量的抽象却只会导致无意义之物……理解抽象，本质上意味着理解必须抽象什么，而不仅仅是知道抽象须如何进行。理解那导向某问题之优雅解答的抽象，就意味着理解如何才能真正找到这一解答。[34]

抽象总是在给定的物质约束之内、并通过这些约束来运作：符号、工具、技术与技术制品，都是就物质、能量、空间、时间等有限资源而被构想并实现的。抽象所搏斗的现实，不是柏拉图理念的理想化空间，而是由力场与冲突构成的、实际存活着的世界。在这个意义上，抽象也是更大范围的社会对抗的一部分。

重要的是，物质约束给出一种推动力，使抽象的触及范围扩展到它原有领域之外。Damerow 与其同事 Wolfgang Lefèvre 一道，把数学的历史认识论（historical epistemology）扩展到一般意义上的科学与工具、器械之关系。他们对工具的理解，同时既是偶然性的又是思辨性的——简而言之，是辩证的。工具不只是达到某一目的的手段，而是超出其最初设计目的的手段：

> 工具决定了心智中所预期的目标能否被实现。在这个意义上，工具从来不只是它们实际所是的东西。毋宁说，它们代表着实现智识上所预期之目标的潜能，也就是说，它们把理念表征为真实的可能性。工具的运用在可能性与现实之间进行中介。工具的使用首先服务于其被生产出来所要达到的目的。但工具比特定目的更为普遍，而在其使用过程中所积累的经验，则导向关于何种可能性能够被实现、以及在各种实现条件下目标与手段之间关系的知识。因此，关于源自劳动过程的自然关系与社会关系的知识，其被表征的首要形式，就是关于工具之恰当使用的规则形式。[35]

在这一理解中，思辨过程始于劳动，劳动发明出工具与技术，而这些工具与技术随后投射出新的本体论维度与科学领域（一个典型例子是蒸汽机的发明催生了热力学学科，而不是相反；见第三章）。Damerow 与 Lefèvre 提出了一种政治认识论（political epistemology），它承认历史力量的种种约束，即对资源与人口的控制、经济生产与资本积累、战争与社会冲突的兴起，以及由于所有这一切而带来的新工具、新技术、新技术制品乃至科学的发展。他们把所有这些力量都置于劳动这一范畴之内加以承认——人类正是通过劳动来改造自然并产生关于自然的新知识。一般意义上的科学，与特殊意义上的数概念一样，都是对物质工具之使用的一种投射：[36]

> 科学的发展取决于其物质工具的发展……理解科学知识增长的关键在于这一事实：借助一件新工具所能获得的知识，超出了发明该工具时的认知前提。其原因在于：科学的工具，与一般的工具一样，都是物质工具：当使用一件物质工具时，所能学到的东西总是多于发明它时所投入的知识。[37]

沿着这一对物质性抽象（material abstraction）的历史概览，人们也很容易设想：算法概念同样是作为一个与对象和工具进行反思的辩证过程的结果而产生的。算法的方法——通过逐步的指令来解决一个问题——是一种抽象，它像许许多多其他抽象一样，产生自这个世界的种种困扰。[38]

## 从计数工具到计算算法（algorithm）

英语词"algorithm"（算法）已有大约八个世纪的历史。它源自中世纪拉丁语词 algorismus，该词指用印度—阿拉伯数字执行基本数学运算的程序。在中世纪的欧洲，由于与阿拉伯世界之间的贸易路线，功能有限的罗马加性记数系统逐渐被更为灵活多用的印度—阿拉伯位值制系统所取代；因为后者在对大数进行复杂运算时更为实用，并且自此成为全球通行的标准。拉丁语词 algorismus 见于例如 Alexandre de Villedieu 1240 年的诗作《Carmen de Algorismo》——这是一部以押韵诗体写成的计算技术手册，用以帮助记忆此类程序。一部 1501 年印于威尼斯、被归于十三世纪修士 Johannes de Sacrobosco 名下的书，题为《Algorismus Domini》，并且还借助图示讲解如何用印度数字进行手工计算。

直到晚近，学界才确定 algorismus 是波斯学者穆罕默德·伊本·穆萨·花拉子密（Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi）之名的拉丁化形式；花拉子密曾任巴格达"智慧宫"（House of Wisdom）的首席馆员，约于公元 825 年撰写了一部关于用印度数字进行计算的著作。花拉子密的阿拉伯文原本已经佚失，但在十二世纪，至少有四种拉丁文译本以不同的标题流传：剑桥大学图书馆的一份抄本以"DIXIT algorizmi"（意为"花拉子密如是说"）开篇，而另一种译本在 1857 年被意大利数学家 Baldassarre Boncompagni 冠以《Algoritmi de numero Indorum》之名。正是经由法语、西班牙语等罗曼语中的种种转写，英语词"algorithm"才进入了当代数学与计算机科学。花拉子密的书帮助把印度位值制数字引入西方；然而，像意大利数学家斐波那契（Fibonacci）这样频繁往返于地中海各地的商人，很可能更多是通过商业往来与实践、而非通过书本学会这一系统的。[39]

就数学惯例而言，"algorithm"一词在西方的采用，标志着从加性记数系统向位值制记数系统的转变。这一转变既是技术性的，也是经济性的，因为它与欧洲及地中海地区商业交换的加速相关，而这种加速要求一种更好的记账系统。十进制位值系统使数的书写更为简洁，并加快了计算速度。在意大利，佛罗伦萨与威尼斯的商人最先采用印度数字，因为这套数字在商业交易中、在处理资本日益庞大的数目时更为灵活多用而受到青睐。德国修士、博学者 Gregor Reisch 编纂的

1503 年著作《Margarita philosophica》中的一幅图画，展示了算盘派（abacists，他们仍在使用罗马记数系统与算盘）和新兴的算法派（algorists，他们采用印度记数系统及其算法（algorithm），以笔在纸上进行计算）之间的争论。算术（Arithmetica）的寓意形象在一旁裁断这场争论，明确判定算法派获胜——她的衣袍上布满了新式数字（见图 1.3）。后来，"algorithm"一词被欧洲上层文化的学者所采用，例如莱布尼茨就用它来命名自己的微分演算方法。达朗贝尔的《百科全书》对"algorithm"给出了一个宽泛的定义：fig. 1.3[40]

> 阿拉伯语词，为多位作者所使用，尤其被西班牙人用来指代数的运算实践。它有时也被用来指以数字进行的算术……同一个词在一般意义上被用来指一切类型的计算的方法与记法。在这个意义上，我们说积分演算的算法（algorithm）、指数演算的算法（algorithm）、正弦的算法（algorithm），等等。[41]

图 1.3：算术的寓意像。Gregor Reisch，《Margarita Philosophica》，1503 年。

至今仍在学校里教授的手工计算的技巧与窍门，其实是一组用于操作数字符号的算法（algorithm）。它们具有一种递归结构，能够处理无穷的、近似的数位，比如素数之间的简单相除：2/3 = 0.666666666……这个分数简单的循环形式表明，即使是有理数，若没有算法（algorithm）的帮助，也无法被计算和表达。更确切地说，甚至数在一个记数系统中的书写方式本身就构成一个算法（algorithm）——在这里，是一个用来表示简单数量的算法（algorithm）。例如，当我们用印度数字写下数 101 时，这个简单的符号应被转译如下：

> 设想一个由若干位置构成的线性序列，这些位置从右向左依次由表示数量的符号占据。每个位置递增地代表十的一个幂次，并且可由十个数码之一填入：0、1、2、3、4、5、6、7、8 或 9。第一个位置代表十的零次幂（也就是普通的个位单位），第二个位置代表十的一次幂（十），第三个位置代表十的二次幂（百），依此类推。以这种方式表示的数，其值等于把每个数码乘以其所占位置所代表的十的幂次之后，再全部相加所得。当数以这种方式表达时，十的幂次的标尺并未被明确写出，而是保持隐含。

因此，数 101 等于：（1 × 百）+（0 × 十）+（1 × 一）。这段用自然语言对十进制系统所作的冗长释义，只需把十的幂换成二的幂——也就是说，只需改变一般记数程序中的一条规则——就可以轻易地改写为对二进制系统的表示。在二进制系统中，数 101 便指示一个不同的数量：

> 设想一个由若干位置构成的线性序列，这些位置从右向左依次由表示数量的符号占据。每个位置递增地代表二的一个幂次，并且可由两个数码之一填入：0 或 1。第一个位置代表二的零次幂（也就是普通的个位单位），第二个位置代表二的一次幂（二），第三个位置代表二的二次幂（四），依此类推。以这种方式表示的数，其值等于把每个数码乘以其所占位置所代表的二的幂次之后，再全部相加所得。当数以这种方式表达时，二的幂次的标尺并未被明确写出，而是保持隐含。

在这种情况下，数 101 等于：（1 × 四）+（0 × 二）+（1 × 一），也就是十进制记法中的 5。在这两段冗长的转述中，自然语言的词语并非被用来解释，而是被用来编码规则——即以逐步指令的程序来构造数。这些转述使记数系统的程序变得可见；这些程序在学校里主要通过练习来传授，通常并不被明言。然而，对十进制与二进制数码如此学究式的反复演练，有助于说出某种并不学究的东西：一切记数系统就其构成而言都是算法性的。正如任何词都蕴含一套语法，任何数

都藏着一个算法（algorithm）——亦即一个用来表示数量并对数量执行运算的程序。总而言之，一切数都是算法性的数，因为它们都是由那些作为记数系统的算法（algorithm）所制造出来的。数码本身（可以说）什么也不计数；它们只不过是一个量化程序——一个算法（algorithm）——中的占位符。

## 算法的机械化

手工计算的算法是逐步被机械化的。在十七世纪的欧洲，帕斯卡（Pascal）、莱布尼茨（Leibniz）等自然哲学家设计了手摇计算器，用以自动执行十进制系统下的四种基本运算。这些装置绝非珍奇柜中的玩物，而是标示着更深层的认识论变化。当时，现代思想的发展已与机器密切相关，以至于可以看到机械思维对哲学思维也产生了影响。例如，笛卡尔（Descartes）著名的推理"方法"，在强调把问题分解为更简单的要素这一点上，就显得颇为"机械"。按照波兰经济学家 Henryk Grossmann 的说法，笛卡尔是在亲自设计工具机的同时构想出其理性方法的，这并非偶然。但 Grossmann 还注意到数学与机器之间一种更深刻的关系："每一条数学规则都具有一种机械性质，可以省去智力劳动和大量计算。"这一经济原则——节省时间、劳动与资源——至今仍是算法思维与算法实践的一个关键方面，正如前文所展示的那样。[42]

正如下一章将要表明的，在十九世纪早期工业经济的语境中，第一个被机械化的计算算法，是 de Prony 用于计算大型对数表的差分法，巴贝奇（Charles Babbage）将其实现于差分机（Difference Engine）之中。差分机的设计只体现这一种算法，但巴贝奇还构想了一台可编程的机器——分析机（Analytical Engine）——它能够表达不同种类的方程（尽管从未建成）。第一个计算机算法或"程序"，通常被认为是阿达·洛夫莱斯（Ada Lovelace）为分析机试写的"计算伯努利数的图表"。巴贝奇的计算机器代表了计算算法与工业自动化的汇合点，尽管在诸多困难之中，它们在用机械齿轮表示十进制系统这一点上举步维艰。[43]

到了二十世纪，得益于二进制系统的灵活性，计算算法被成功地自动化了。二进制数码在电气装置中的实现，远比十进制数码在机械装置中的实现容易，因为电流的通与断这两种状态可以直接表示数字 0 和 1。这样一来，加法和减法等运算的执行就被极大地简化了。在技术上，二进制运算是在美国数学家克劳德·香农（Claude Shannon）1938 年发表其硕士论文《继电器与开关电路的符号分析》之后，才开始被采纳并编码进电气机器的。香农第一次提出，利用电气开关的二值属性，不仅可以表示二进制数及其运算，而且可以表示命题逻辑，具体而言，即布尔逻辑运算符 AND、OR 与 NOT。[44][45]

第二次世界大战之后，二进制代码、冯·诺依曼（von Neumann）体系结构，以及微芯片中高效逻辑门的工程实现，使建造高速计算机、并形式化规模更大、复杂度更高的计算机算法成为可能。历史上第一次，数码序列不仅表示数量，而且表示指令。所谓的"计算机革命"，不仅在于用二进制数码（二进制位，即比特）来编码人类语言与模拟内容（数字化），而且在于通过二进制逻辑（即布尔逻辑）来加速机械计算。与只强调硬件与软件之分离的通行看法相反，数字计算实际上是二进制数码与布尔逻辑在信息与指令的同一介质中的相互交织——二者互为对方的补充形式。换言之，随着数字计算的出现，记数的算法（二进制数码）与计算的算法（二进制逻辑）几乎合而为一。[46]

在数字时代，算法上升到了抽象机器的角色（其名目各异：程序、软件、代码，等等），被用来控制电子计算机器。正如本章开头所提到的，当代最为人熟知的"算法"定义来自计算机科学："一种由逐步指令构成的有限程序，用以将输入转化为输出，独立于数据，并对给定资源作最佳利用。"逻辑从内容中的抽象，是技术发展与认知发展的关键方面之一：正如其他抽象技术一样，算法必须独立于环境约束和数据来源而运作。然而，本章已经质疑了这种把抽象理解为与世界及其历史发展相分离的解读。事实上，机器学习的到来已把这一静态的算法定义彻底颠倒过来：机器学习算法变得具有自适应性，从僵硬的规则集合转而"从数据中学习"规则。[47]

经典定义把算法描述为自上而下地将僵硬的规则施加于某些输入数据。数据并不影响算法的行为：它们只是有待规则处理的被动信息。

与此相反，机器学习算法根据输入数据改变其内部规则（称为参数）。由此，可以说数据不再是被动的，而是变成了主动的信息，影响着逐步程序的参数，因而这一程序不再由算法严格预先决定。机器学习的突破恰恰在于这一转变：用于数据分析的算法变得动态化，改变其僵硬的推断结构，以适应数据的更多属性——通常是逻辑关系与空间关系。典型的例子是用于模式识别（pattern recognition）的人工神经网络，它根据视觉矩阵诸元素之间的关系来改变其节点的参数。就此而言，最新的 AI 算法在结构上并未不同于、也并不远离那些通过持续模仿空间、时间、劳动与社会关系之配置而产生的古代数学实践。

正如科学史家 Jürgen Renn 继 Damerow 之后所指出的，机器学习算法绝非什么"超人"之物，而是认知功能之内化与外化循环的一部分，这一循环属于一切文化技术（cultural techniques）：

> 归根结底，机器学习算法……不过是人类思维外化的一种新形式，尽管是一种格外智能的形式。正如在它们之前的其他外部表征——例如计算机器——那样，它们以另一种模态部分地接管了人脑的功能。它们最终会超越乃至取代人类思维吗？回答这一问题的关键，不在于它们的总体智能仍远远落后于人类乃至动物的智能，而在于它们只有在内化与外化的循环之中才能充分发挥其潜能，而这一循环……正是文化演化的标志与驱动力。[48]

以类似的方式，这一导论性的章节旨在把算法概念放到透视之中来审视——既置于其历史语境之中，也置于知识系统的漫长演化之中。简言之，首先是中世纪晚期的重商加速，其次是信息社会的兴起，促成了今日所知的算法的形式化。出于一种语言上的巧合，中世纪的 algorismus 一词标记了从加性记数制向位值记数制的过渡，而晚近对"算法"一词的使用则标记了从十进制数码向二进制数码的过渡。这些不仅是形式和技术上的转变，而且也是经济上的转变；毕竟，印度—阿拉伯数字与手工计算的算法之所以被采纳，是为了简化会计与商业交易，而二进制数码之所以被采纳，则是因为它们可以在电路和逻辑门中实现，从而加速工业自动化与国家行政。正如第一次转变关联于早期重商主义，第二次转变也同样关联于工业资本主义——尤其是其加速通信技术、并使脑力劳动（mental labour）自动化的需求。[49]

# PART I
# The Industrial Age

# 2

# 巴贝奇与脑力劳动（mental labour）的机械化

> 我们必须记住，另一门更高的科学，其自身更加无边无际，也正以巨人的步伐向前迈进……这就是计算的科学（science of calculation）——它在我们前进的每一步上都变得愈发必要，并且最终必将统辖科学对生活技艺的全部应用。
>
> > 查尔斯·巴贝奇，《论机器与制造业的经济》（On the Economy of Machinery and Manufactures），1832年 1[1]

## 作为劳动分工（division of labour）的计算

在十九世纪初的英格兰，"computer"不是一种机器的名称，而是指一个人——即一名办公室文书，往往是女性，她必须为政府、天文学会或海军手工完成冗长乏味的计算。有时这些"计算员"（computers）也在家中工作，收到成叠待算的数字，再把结果邮寄回去：这就是字面意义上历史中最早出现的计算网络，它采取了家庭劳动的形式，而且很可能还牵涉到其他家庭成员。为了理顺这一既耗时又易出错的流程，博学者查尔斯·巴贝奇（Charles Babbage）想出了用一台由蒸汽驱动的自动机器来替代众多"计算员"重复性工作的主意。1823年，

Henry Colebrooke 在伦敦天文学会为差分机（Difference Engine）的发明向巴贝奇颁发金质奖章时宣称：

> 在其他情形中，机械装置是以机器替代较简单的工具或身体劳动……但我此刻所指的这项发明……是以机械运转替代一种智力过程……巴贝奇先生的发明把一台引擎放到了［人类］计算员的位置上。2[2]

巴贝奇的差分机（Difference Engine）被誉为现代计算机的先驱，其诞生却出自一桩商业野心——把对数计算自动化，并出售无误差的对数表；对数表在天文学中至关重要，对维持英国在海上贸易中的霸权同样如此。在诸多推动因素中，正是公海上经度计算的问题给了机械化计算以特别的动力。小型机械计算器当时已经存在，但它们并未自动化，而且只能解决基本的数学运算。巴贝奇的想法是，把一台复杂的对数计算器接到蒸汽机所提供的连续运动上，从而得到的就不只是一个计算装置，而是一台计算引擎（calculating engine），它可以把计算生意确立为工业规模的事业——并且携带着"引擎"（engine）这个新词在当时所承载的关于无限性能与不受约束的经济增长的幻想。当代意义上的自动计算机的观念，产生于把文书的脑力劳动（mental labour）机械化的计划，而非出自建造会思考的自动机这一古老的炼金术之梦——尽管后一种叙事，无论在十九世纪还是在企业AI 的世纪，都常常被用来给前一种生意打掩护。3[3]

巴贝奇究竟想要机械化的是何种"智力过程"，或者说何种脑力劳动（mental labour）？如果我们要理解计算的局限与潜能，这是一项关键的澄清；缺了它，甚至连 AI 本身的定义都只会放大误解。第一种被机械化的脑力劳动（mental labour）是手工计算——一项特定的技能，它一直延续到图灵机模型为止；而图灵机本身就被设想为一名人类打字员（一名"计算员"）的形态，像在电报站里那样在纸带上读写数字。正如第九章将循着另一条计算与 AI 的谱系所展示的，用于模式识别（pattern recognition）的人工神经网络的情况却并非如此，因为后者旨在自动化的不是手工计算，而是知觉与监督的劳动（labour of perception and supervision）。

巴贝奇的差分机（Difference Engine）是一件奇特的制品。它不是当代意义上的计算机，因为它并不区分软件与硬件、指令与信息（见图2.1）。由于它同时既是硬件又是软件，差分机在当代人眼中显得饶

有美学趣味：它的黄铜齿轮与旋转圆柱以物理形式体现了一个单一的算法——法国数学家 Gaspard de Prony 的"差分法"（method of differences），该方法被用来简化平方数与对数的计算。差分机也不是当代意义上的计算机，因为它不是可编程的装置：拥有独立信息输入的工业机器这一头衔，属于更为朴素的雅卡尔提花机（Jacquard loom）。差分机的原型从未完成，而雅卡尔提花机则被生产了数千台，成为工业时代的一大驱动力。雅卡尔提花机确立了一个信息存储的标准——穿孔卡片——IBM 几乎原封不动地将其沿用到二十世纪。此外，第一幅"数字图像"——即由数值文件描述的图像——恰好也是另一件纺织制品：一幅1839年的雅卡尔本人肖像，用24,000张这样的穿孔卡片织成。巴贝奇在书房里保存着一份雅卡尔肖像的复制品，并把穿孔卡片用作另一个未实现原型——分析机（Analytical Engine）——的输入格式；与其前身不同，分析机的设计在理论上把信息与指令分开，并且能够求解不同类型的方程。fig 2.1[456]

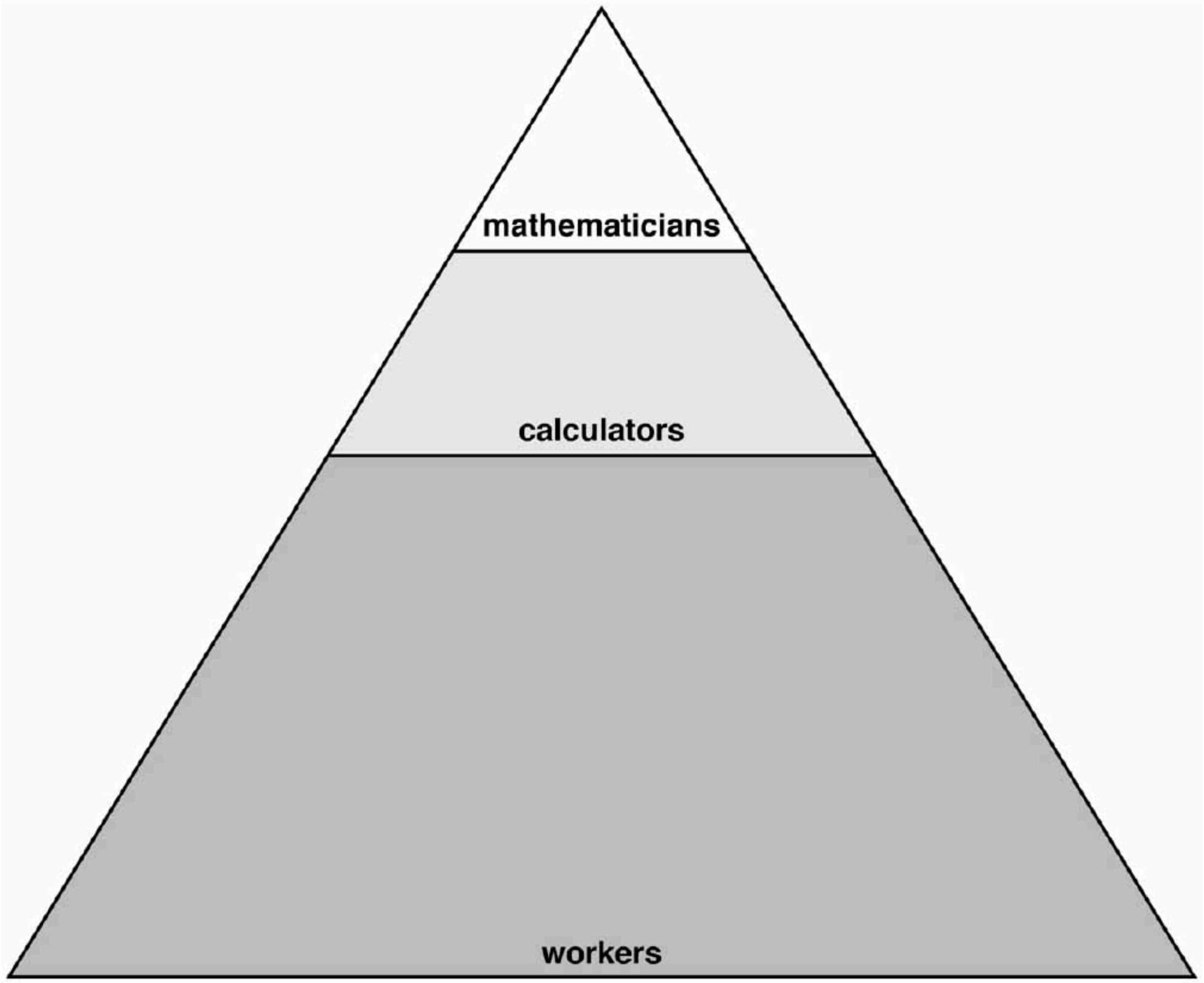



图2.1. 将 de Prony 的算法实现为劳动分工（division of labour）的方案。Lorraine Daston, ‘Calculation and the Division of Labor, 1750–1950’, Bulletin of the German Historical Institute 62 (Spring 2018): 11.

差分机（Difference Engine）绝非巴贝奇孤独的思辨头脑独自的发明。正如 Simon Schaffer 所指出的，遍布英格兰的"智能之所"（places of intelligence）协助了巴贝奇的机械计算实验，并最终成为他的"机器智能"（machine intelligence）的来源。Schaffer 评述道，巴贝奇与作为知识场所的工业工场之间的关系，比他与大学的关系更为亲密，因为当时的大学只提供保守而空谈的课程。尽管圣徒传式的传记仍把他描绘成一个孤独的天才，巴贝奇实际上深深地介入了那个时代的工业环境以及新兴的政治经济学学科的论辩。事实上，他撰写了当时最有影响的工业手册之一：《论机器与制造业的经济》（On the Economy of Machinery and Manufactures，1832）。[7]

应用中的劳动分工（division of labour）、而非抽象数学，才是自动计算的"发明者"——这一点也为巴贝奇此书的开篇所证实："本卷可以被视为计算引擎（Calculating-Engine）所产生的后果之一，而该引擎的建造由我督管已久。"8 这是一项历史证据，表明：作为劳动分工（division of labour）的一种表达，计算从一开始就守望着工业资本主义的展开，而不是其最新发展的产物。巴贝奇试图让读者相信，史上出版的第一部关于工业生产管理的手册是受自动计算计划的启发而作；然而，一位唯物主义史家则会审视这种自我神话。难道不是恰恰相反：正是劳动组织与劳动不服从的问题促成了新规训技术的发明，并因此驱使巴贝奇深入工业欧洲的熔炉之中？[8]

## 用时钟运算

在英格兰，脑力劳动（mental labour）机械化与自动计算发明的具体推动力，来自对精确对数表的需求；在一个激进殖民扩张的时代，对数表对于在海上航线中保持定向至关重要。用于在公海计算经度的对数表因人为错误而极不可靠，造成了数起船难与巨大的商业损失。圣徒传式的轶事记载，巴贝奇对着对数书苦思、盯着其中大量的错误时喊道："我真希望上帝让这些计算由蒸汽来执行。"9 然而，第一个加速对数表计算的项目并非发生在英国，而是在法国：1791年，革命政府正致力于把官方度量体系改革为公制，投入于 Lorraine Daston（为了与今天的"大数据"作类比）所称的"大计算"（big calculation）。为了推行一项让十进制成为角度测量标准的雄心计划，政府请 Gaspard de Prony 设计把直角划分为100度而非90度——这一项目要求把旧的弧度分数按对数换算为新的分数。尽管角度改革的计划失败了，而且有着数千年历史的苏美尔时间划分至今仍是全球标准，但这一尝试将为自动计算的诞生提供动力。[910]

苏格兰经济学家亚当·斯密在《国富论》中写下了关于制针业劳动分工（division of labour）的著名描述。斯密关于劳动分工（division of labour）的图景启发了 de Prony，后者据此为对数计算设计了一种堪称集体算法的东西。De Prony 构想了一个组织成社会金字塔的工作流程：在顶端，他安排了一批数学家，负责表述问题并把它传给第二

等级的"代数家"（algebraists）；后者再为第三等级的人类计算员准备简单的运算与数据，由这些计算员在纸页上完成全部实际计算，然后交回给他们的上级（见图2.2）。学生（常常是女性），有时还有"大量失业的理发师被用来通过加减法填写纸页上的数字"。De Prony 的算法应用了前述的差分法（method of differences），该方法基于这样一个事实：相邻数的平方之差保持恒定，因此只需简单的加减法即可插值求得后续的平方，从而取代复杂的乘法。12fig. 2.2[11][12]

| *Repetitions of Process.* | MOVEMENTS. | CLOCK A. — *Hand set to* I. | CLOCK B. — *Hand set to* III. | CLOCK C. — *Hand set to* II. |
|---|---|---|---|---|
| | | TABLE. | *First difference.* | *Second difference.* |
| 1 | Pull A. | A. strikes . . . . 1 | . . . . . . . . . | . . . . |
| | — B. | The hand is advanced (by B.) 3 divisions . . | B. strikes . . . . 3 | . . . . |
| | — C. | . . . . . . . . . | The hand is advanced (by C.) 2 divisions . . | C. strikes 2 |
| 2 | Pull A. | A. strikes . . . . 4 | . . . . . . . . . | . . . . |
| | — B. | The hand is advanced (by B.) 5 divisions . . | B. strikes . . . . 5 | . . . . |
| | — C. | . . . . . . . . . | The hand is advanced (by C.) 2 divisions . . | C. strikes 2 |
| 3 | Pull A. | A. strikes . . . . 9 | . . . . . . . . . | . . . . |
| | — B. | The hand is advanced (by B.) 7 divisions . . | B. strikes . . . . 7 | . . . . |
| | — C. | . . . . . . . . . | The hand is advanced (by C.) 2 divisions . . | C. strikes 2 |
| 4 | Pull A. | A. strikes . . . . 16 | . . . . . . . . . | . . . . |
| | — B. | The hand is advanced (by B.) 9 divisions . . | B. strikes . . . . 9 | . . . . |
| | — C. | . . . . . . . . . . . . . . . | The hand is advanced (by C.) 2 divisions . . | C. strikes 2 |
| 5 | Pull A. | A. strikes . . . . 25 | . . . . . . . . . | . . . . |
| | — B. | The hand is advanced (by B.) 11 divisions . | B. strikes . . . . 11 | . . . . |
| | | | The hand is ad- | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | — C. | . . . . . . . . . | vanced (by C.) 2 divisions . . | C. strikes 2 |
| 6 | Pull A. | A. strikes . . . . 36 | . . . . . . . . . | . . . . |
| | — B. | The hand is advanced (by B.) 13 divisions . | B. strikes . . . . 13 | . . . . |
| | — C. | . . . . . . . . . | The hand is advanced (by C.) 2divisions . . | C. strikes 2 |

图2.2. 将 de Prony 的算法实现为一种机械装置的设计。Charles Babbage, On the Economy of Machinery and Manufactures, London: Charles Knight, 1832, 161.

巴贝奇的想法是用一台机器替代计算金字塔中的第三等级工人，因为他们所重复的不过是简单差分的加减这类乏味任务。最终，差分法（method of differences）为巴贝奇的机器提供了算法，也提供了名字：差分机（Difference Engine）。如上所述，当时用于基本运算的机械计算器已经存在，并靠手驱动。巴贝奇的想法是把这一特定算法实现于一个机械装置之中，并以蒸汽机作为运动之源，从而把对数表的计算变成一门有规模的工业生意。差分机一旦开动，理应不停歇地算出整张对数表。巴贝奇的计划是一项迷人的巧械，它试图赋予黄铜与木头制成的齿轮以无限的计算能力。今天，用蒸汽作为计算的能量来源也许只在蒸汽朋克这一科幻类型中延续，但在巴贝奇的时代，这是向一个与我们当今所居迥然不同的世界的探险——在那个世界里，自动计算将不依赖电力运行。

巴贝奇差分机（Difference Engine）的第一个原型还谦逊地靠手驱动。有趣的是，第一个承担起把 de Prony 的手工计算算法转译为"物质"这一角色的装置，竟是一件熟悉之物：时钟（见图2.2）。巴贝奇在其1832年著作中那常被遗忘的一章《论脑力劳动的分工》（'On the Division of Mental Labour'）里发表了差分机的总体构想。在那里，他提出了"在某些读者看来也许显得悖谬的东西——即劳动分工（division of labour）可以同样成功地应用于心智操作，而且一经采用，就能确保同样的时间经济"。循着 de Prony 的差分法（method of differences），巴贝奇把对数表的计算解构为模块化的步骤，并把它们实现为一种新的机械算法。差分法表格的三列由时钟来代表，巴贝奇随后把这些时钟实现为旋转圆柱。在差分机第一个可运转的原型

（约1833年）中，圆柱形"时钟"的逐步旋转取代了一只手在纸上加写数字的动作。时钟这一制品在此扮演了记数系统与计算算法之间的启发式中介这一堪称典范的角色。如果说自动化是出于节省时间的需要而被追求的，那么它恰恰以时钟的形式获得实现，这一点本身便具有象征意味。同样耐人寻味的是，时钟的指针在被用来测量工厂中体力劳动（manual labour）的生产率之后，又转而来把手工计算本身自动化。fig. 2.2[13]

这些圆柱形时钟被设计为以一次增量旋转的形式接收一个数，把它加到先前累积的增量数上，并以进一步的增量旋转形式输出总数。然而，这一运动被囚禁在一个机械装置之中，该装置只能不可逆地执行一次庞大而连续的运算。正如它不区分硬件与软件，巴贝奇的时钟圆柱也并不真正区分数与过程，或者说记忆与运算。这两种功能要到分析机（Analytical Engine）的设计中才被分离（后来在现代计算机中则表现为内存与中央处理器之间的划分）。巴贝奇的机械算法所面对的另一个限制是十进制系统本身，以及十位进位自动化的问题——自帕斯卡时代以来，这个问题就一直困扰着机械计算。必须记住，二进制系统之所以被采用（这要归功于莱布尼茨、布尔、图灵、香农、冯·诺依曼等人），是因为它在技术上简化了加法与减法。一个电开关可开可合，这两种状态便足以表示记数所需的全部单位（见第六章）。相比之下，差分机（Difference Engine）的轮子却要费力容纳十个数字，巴贝奇试图用一种精巧却笨拙的进位回程装置来解决余数问题。[14]

正如 Matthew Jones 所阐明的，对巴贝奇而言，如同对现代的许多哲学家兼发明家一样，机械计算的事业与自然哲学的事业不可分割；后者旨在"以物质进行运算"（reckoning with matter），其确切原因在于：运算（reckoning）被视为一种较低级的心智活动，是"机械"阶级（或其机器等价物）必须替上层阶级执行的事情。事实上，大多数现代自然哲学家（霍布斯除外）都坚持认为心灵不可还原为机械装置。在这样的政治气候中，脑力劳动（mental labour）之所以能够被自动化，正是因为它是工人阶级的任务，而不被视为真正意义上的"思考"。[15]

## 劳动分析的原理

尽管差分机（Difference Engine）很容易令维多利亚时代科学技术史家着迷，但巴贝奇之所以值得被铭记，与其说是因为这台机器本身，不如说是因为启发了其设计的劳动分工（division of labour）诸原理。像达斯顿（Daston）与沙弗（Schaffer）这样的科学史家，帮助人们质疑了差分机（Difference Engine）作为早期自动化计算之"独奏小提琴"的地位，转而在工业时代的舞台上让一个不那么诱人、却更合乎逻辑的主角显形：劳动分工（division of labour）及其社会等级。沙弗强调，巴贝奇的"机器智能（machine intelligence）"出自工人、工匠与机械师的"用心之手（mindful hands）"，如前所述，他们是在作坊与工厂这类"智能之所"中、而非在皇家学院里建造实验性装置。正如琼斯（Jones）所详述，巴贝奇公开追求弗朗西斯·培根"发现一种关于发明的哲学理论之希望"。然而，他那台计算引擎的秘密并不在于对上帝之先见的模仿（如巴贝奇所主张），而更在于这些作坊与工厂的日常事务——它由持续不断的失败以及与工人的冲突构成，包括巴贝奇自己团队的抗命。因此，为了更好地理解巴贝奇诸机器的设计及其"机器智能（machine intelligence）"的品质，就有必要阐明他的两条劳动分析原理：(1) 机器的劳动理论（labour theory of the machine），它主张一台新机器会来模仿并替代先前的[1617]

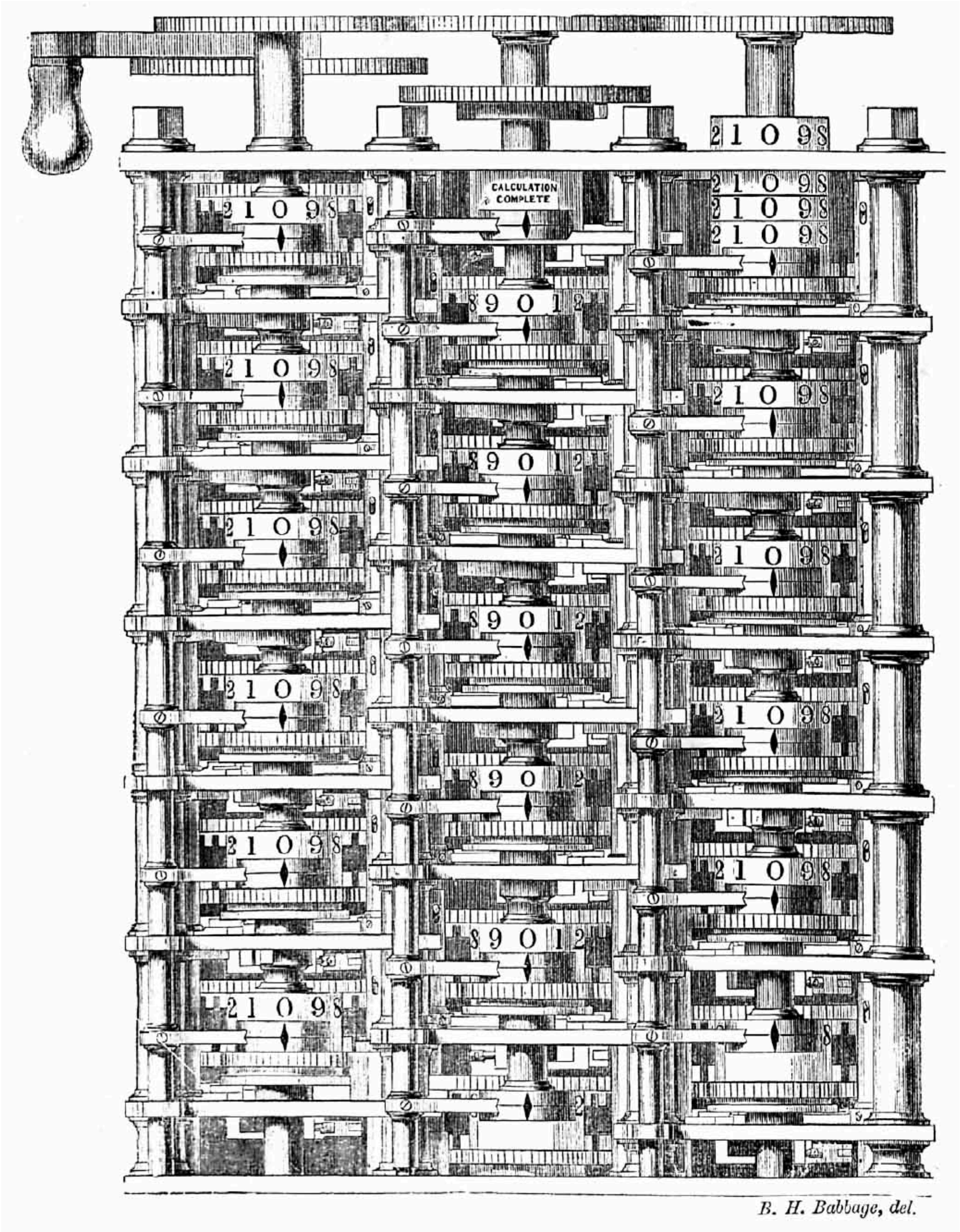



图2.3。巴贝奇的差分机（Difference Engine）。Charles Babbage, Passages from the Life of a Philosopher, London: Longman, Roberts & Green, 1864, 封面。

作为现代经济学的奠基者，亚当·斯密（Adam Smith）是第一个在《国富论》（The Wealth of Nations，1776）中勾勒出机器的劳动理论（labour theory of the machine）的人，他认识到新机器是通过模仿工作场所中的任务组织而被"发明"出来的："所有那些如此便利并缩减劳动的机器，其发明似乎最初都归功于劳动分工（division of labour）。"如果说独立的工具产生于某一简单手工活动的重复，那么机器则产生于这些工具的组装。凭借更丰富的技术经验，巴贝奇在其《论机器与制造业的经济》（On the Economy of Machinery and Manufactures）中更好地表述了这一思想：[18]

> 或许，制造业者的经济所依赖的最重要原理，就是在执行工作的人员之间进行的劳动分工（division of labour）……劳动分工（division of labour）促成了用以执行其各道工序的工具与机械的发明……当每道工序都被化简为对某种简单工具的使用时，所有这些工具在一个动力的驱动下联合起来，便构成了一台机器。[19]

机器的劳动理论（labour theory of the machine）建立在一个既是技术的又是经济的公设之上，据此，只有当一套工具的协调经过检验、并被证明对生产与降低成本是成功的之后，机器才会出现。如果斯密与巴贝奇是对的，机器作为一种集体劳动分工（division of labour）的实验与实施而出现，那么一个政治问题便立即浮现出来：谁才是机器真正的发明者？谁能宣称机器发明的功劳？是工人、工厂主、工程师，还是所有这些行动者的编排？谁拥有对这样一种集体劳动分工（division of labour）的权利？这些都是十九世纪所谓"机器问题"（Machinery Question）中真实而备受争论的议题（见第三章）。

巴贝奇的进一步贡献，是把机器的劳动理论（labour theory of the machine）——即机器模仿并替代先前的劳动分工（division of labour）——放到经济规划的框架中来表述。事实上，劳动分工（division of labour）本身的出现，不仅是为了把劳动更好地组织为模块化的任务，也是为了精确地测量（人们不禁想说：计算）每项任务的成本。所谓的巴贝奇原理（Babbage principle）在如下这段话中得到了经典表述：

> 工厂主通过把要执行的工作划分为不同的工序，每道工序需要不同程度的技能与体力，就能恰好购买每道工序所必需的那一精确数量的技能与体力；反之，如果整件工作由一名工人来完成，那么此人就必须既具备足以执行这门技艺所划分出的最困难操作的技能，又具备足以执行其中最费力操作的体力。[20]

巴贝奇原理（Babbage principle）主张：把一个生产过程组织为若干小任务（即劳动分工（division of labour）），就使得对每项任务所必需的劳动量进行计算和精确购买成为可能（即价值分工）。劳动分工（division of labour）为对劳动的监督确立了一种得天独厚的视角，同时也有助于按需调节从每个工人身上榨取剩余劳动。用更具分析性的话说，巴贝奇原理（Babbage principle）设定：劳动分工（division of labour）的抽象图示（diagram）有助于组织生产，同时又提供了一种测量劳动价值的工具。在这个意义上，劳动分工（division of labour）不仅提供了机械的设计，也提供了商业计划的设计。

一种关于自动化计算的根本理论，来自巴贝奇把他的劳动计算原理（principles of labour calculation）应用于脑力劳动（mental labour）分工。值得注意的是，他已经把工厂看作某种知识经济，可以从每个工人那里榨取精确的"所需的技能与知识的数量"：

> 劳动分工（division of labour）的效果，无论在机械过程还是在脑力过程中，都在于：它使我们能够为每道工序恰好购买并投入其所必需的那一份技能与知识的数量：我们避免让一个凭借回火制针的技艺每天能挣八到十先令的人，把他的任何一段时间花在转动一个每天六便士就能完成的轮子上；同样，我们也避免因雇用一位造诣高深的数学家去执行算术中最低级的工序而造成的损失。[21]

把巴贝奇的两条原理结合起来，可以说计算既作为脑力劳动（mental labour）分工的自动化，又作为对此种劳动之成本的计算而出现。人们可以设定：在计算的逻辑之下，劳动的自动化与劳动成本的计算甚至变成了同一回事。毕竟，计算意味着以时间、空间、能量、资源和资本来衡量劳动的成本。从资本的视角看，这往往忽略了此种劳动的"人的成本"。正如科学史家诺顿·怀斯（Norton Wise）所指出的，劳动分工（division of labour）

> 实际上是一种劳动的等级，而不仅仅是分工……它把技能与蛮力分离开来，以便制造业者不必同时为二者付费……但这单一原理适用于整个等级，既适用于机器也适用于人类劳动者，既适用于脑力劳动也适用于体力劳动，它要求把所有来源的数量与种类都加以配置，从而使生产成本最小化。这是一条关于工厂内部组织的原理……而巴贝奇力图把它推广到整个政治经济学。[22]

巴贝奇的劳动分析诸原理所隐含的，是对熟练工人与非熟练工人的进一步区分，以及归根结底对知识之社会等级的"自动化"。总之，当

机器的劳动理论（labour theory of the machine）与他的劳动计算原理（principle of labour calculation）结合起来时，它便具有非凡的重要性：二者合在一起，似乎把工业机器不仅界定为一种生产装置，也界定为一种劳动的测量工具。归根结底，巴贝奇原理（Babbage principle）代表了一种价值的机器理论（machine theory of value）——即一个用以机械地表征并计算劳动成本与资本投资的模型。以一种高度形式化的方式可以说，机器的劳动理论（labour theory of the machine）与价值的机器理论（machine theory of value）共同构成了一条技术经济原理，据此，机器是由劳动分工（division of labour）建造的，以实现对剩余价值更精确的计算与榨取。

## 分析性智能与机器符号学（machine semiotics）

在反复琢磨破损的工具、不平整的齿轮与未完成的机器时，巴贝奇发现自己身处一种许多其他发明家都不陌生的境地：为了改进并加速设计，他需要把一种人工语言编码化。在《论机器的经济》（On the Economy of Machinery）中，他写道：

> 完全可以在纸面上构造出整台机器，并在其任何一个部件被制造出来之前很久，就判断出应赋予每个部件以及支撑它的框架的适当强度，还有它最终的效果。事实上，一切构思、一切改进，都应当首先呈现在图纸中。[23]

正如琼斯（Jones）所指出的，巴贝奇的分析性希望很快就与实施的偶然性以及人类协作的必要性相冲突。在其自传中，巴贝奇本人承认："需要最高级的绘图员来节省我自己头脑的劳动；同时需要熟练的工人来制造那些我不得不持续求助的实验性机械。"巴贝奇的"机器符号学（machine semiotics）"方案（沙弗如此称呼它）延伸了他的劳动分析诸原理，并表达了一种直觉，这种直觉类似于晚近一些作者交替定义为"机械思维"、"计算思维"或"算法思维"的东西。[24][25]

在把计算引擎奠基于脑力劳动（mental labour）分工的分析之后，巴贝奇试图依据类似的原理为机器设计确立一套记法系统。为了更好地表达它们的逻辑形式，计算引擎的设计要求一种符号性的元语言（一种二阶表征），巴贝奇称之为"机械记法（mechanical notation）"。巴贝奇在两篇文本中表达了这一方案：《论一种用符号

表达机械动作的方法》（'On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery'，1826）与《机械记法之定律》（'Laws of Mechanical Notation'，1851）。机器制造的认识论维度，在1851年的另一则笔记中对巴贝奇而言就已经很清楚：[26]

> 把人描述为一种制造工具的动物，并不是个糟糕的定义。他为支撑未开化生活而作的最早的发明，都是构造最简单、最粗糙的工具。他晚近的成就——不仅以机械替代人手的技能，更为了减轻人类的智力——则是建立在使用一种更高阶的工具之上。[27]

机械记法（mechanical notation）的目的，是要表征机器诸状态的动态图示，超越传统的静态图纸。考虑到这些计算机器的性质，巴贝奇的机械记法（mechanical notation）可以被视为后来成为二十世纪数字计算机之流程图与编程语言的东西的胚胎阶段。巴贝奇的机械记法（mechanical notation）与数字计算机语言之间的逻辑等价并非巧合：事实上，后者能够模拟前者。[28]

机械记法（mechanical notation）这一构想，还必须被置于巴贝奇时代的思想氛围中来理解——尤其是关于数学分析在英国大学中兴起、对抗传统几何学课程的那场争论。十九世纪初，剑桥大学爆发了一场争执，一方是为其实践洞见而自豪的几何学者，另一方是新兴的代数学者。后者被指责不过是采取了一种来自法国的时髦姿态——名为"分析"（Analysis）——它把他们困陷于缺乏任何实用价值的抽象之中。然而，随着工业资本主义席卷联合王国，"分析性"思维进入学界这件事，可以被看作是在回响当时另一种同样迫切的"分析"形式：对劳动的分析。的确，数学分析似乎受到了经济需求的鼓励，这种需求要求对劳动与机器有更多的分析性智能。正如第四章将会展示的，就连马克思也采用了巴贝奇的术语，他在《大纲》（Grundrisse）中写道，设计机器的最佳方法不是把科学（"对自然的分析"）应用于工业，而是"通过劳动分工（division of labour）来分析"。[29]

关于发明的过程，巴贝奇提出了一种三重的设计：(1) 通过机器各组成部分对其设计进行分析；(2) 对机器设计的简化；(3) 对简化后设计的实施，而这通常会带来进一步的调整。这一方法的算法性质，明显体现在它赋予简化过程的中心地位上，这使它等价于一种资源优化与节省的方法。在其晚年的自传《一位哲学家的生活片段》（Passages from the Life of a Philosopher）中，巴贝奇不出意料地指

出，时间的经济——它对劳动分工（division of labour）与机器设计都是关键——同样对将在分析机（Analytical Engine）上运行的计算程序也是关键（这一原理今天被称为算法效率）："一旦分析机存在，它就必然会引导这门科学的未来进程。每当借助它来求取任何结果时，问题便会随之出现——通过怎样的计算过程，机器能够在最短的时间内得出这些结果？"因此，巴贝奇不只是大多数传记作者所描绘的那种数学家，而已经是一位"算法思维者"，因为设计优化与资源节省的原理，对他那些（未完成的）机器与他那些（思辨性的）算法都同样关键。[30][31][32]

巴贝奇的机械记法（mechanical notation）本质上是从对劳动的分析中生长出来的。如果说劳动过程的设计锻造了机器的设计，那么以类似的方式，机器的设计本身也启发了作为二阶表征的机器语言。正如第一章所阐明的，在工业机器设计中层层搭建（scaffolding）更高层次的抽象，是文化技术（cultural techniques）之发展的典型特征。巴贝奇的诸原理具体而言是劳动之"分析性智能"的原理，它们也可以有助于照亮接下来一个世纪的人工智能史，即劳动任务的持续实施与自动化。简言之：劳动的分析性智能，正是机器的分析性智能之根基。[33]

## 阿达·洛芙莱斯：当 computer 尚为女性

巴贝奇并非孤独的天才。自伯特伦·鲍登（Bertram Bowden）的文集《比思想更快》（Faster than Thought, 1953）出版以来，阿达·洛芙莱斯（Ada Lovelace）的形象及其对巴贝奇诸项目的贡献已逐渐得到承认。的确，如今日益增多的文献——尽管忽视了当时计算行当中其他被"匿名化"的女性的作用——把她颂扬为"历史上第一位女程序员"。洛芙莱斯是诗人拜伦勋爵与常被遗忘的数学家安妮·伊莎贝拉·米尔班克（Anne Isabella Milbanke）的女儿，她醉心于当时被称为"分析"（Analysis）的代数记法，以至于给自己冠上了"分析师"（Analyst）这个颇具未来色彩的头衔。正是这份对数学与抽象记法的热情，使她结识了巴贝奇。[34][35][36]

洛芙莱斯协助巴贝奇设计分析机（Analytical Engine），并写下了有史以来第一个有文献记载的机器程序。尽管分析机从未建成，洛芙莱斯的这个虚拟程序——作为一组交由机器执行的指令——被视为当今算法的最早范例；不过她本人从未使用"算法"一词，而是把这个程序称为一张"图示"（diagram）。她的"伯努利数计算图示"见于路易吉·梅纳布雷亚（Luigi Menabrea）《查尔斯·巴贝奇所发明分析机概述》一文的"注释"部分。梅纳布雷亚（他将于 1867 年出任意大利首相）作为一名年轻数学家在都灵结识了巴贝奇，并撰写了一篇关于分析机的报告。巴贝奇随后请洛芙莱斯将梅纳布雷亚的文本从法文译出，而她为译文增补的附录竟比正文还长。[37]

这些"注释"是计算史上的一座里程碑，因为其中勾勒出的胚胎形态的公设，在二十世纪将成为所谓的"计算机科学"，而在洛芙莱斯自己的时代，她把它定义为"操作的科学"（science of operations）。她的意图是区分这台机器的逻辑结构与机械结构——用今天的话说，即软件与硬件。她把使这些逻辑能力得以可能的机械装置当作基底，详述了它相对于其前身差分机（如上所述，后者只体现了单独一个算法）的改进之处。因此可以说，洛芙莱斯投身于一项雄心勃勃而复杂的任务：把分析机描述为如今所谓的第一台通用计算机（general purpose computer）。[38]

通过设想一台能够表达一切可能方程及其求值的逻辑机器，洛芙莱斯提出了一个比传统数学所理解的对数的运算更一般、更普遍的"操作"（operation）定义。她的操作的科学（science of operations）涵盖对任何实体——而不仅仅是数——的抽象操纵，由此也为自动化的定义暗示了一种更宽泛的含义。她写道：

> 或许有必要说明：我们所说的操作（operation）一词，指的是任何改变两个或多个事物之相互关系的过程，无论这种关系属于何种性质。这是最一般的定义，会把宇宙中的一切事物都包括在内。当然，在抽象数学中，操作所改变的是涉及数与空间之考量的那些特定关系，而操作的结果，则是与操作对象的性质相对应的那些特有结果。但操作的科学（science of operations），作为尤其从数学中派生出来的科学，自身即是一门科学，拥有其自身的抽象真理与价值。[39]

换言之，洛芙莱斯把"操作"（operation）定义为对数学这门二阶语言之外的物质实体与符号实体的控制（正如第一章讨论过的那种越出计算机科学边界的算法思维观念）。以一种富于远见的方式，洛芙莱

斯似乎在暗示：数学并非最卓越的普遍理论，而只是操作的科学（science of operations）的一个特例。循此洞见，她设想了数值计算机作为通用机器在最多样的学科中表征和操纵数值关系的能力，并由此生成——除其他事物之外——复杂的音乐作品：

> [分析机]可以作用于数之外的其他事物，只要能找到这样一些对象：它们相互间的基本关系能够用操作这门抽象科学的关系来表达，并且也能够适应于这台机器的操作记法与机构的作用……例如，假设和声学与音乐作曲学中乐音之间的基本关系能够得到这样的表达与适配，那么这台机器就可能创作出任意复杂程度、任意篇幅的精致而科学的乐曲。[40]

计算史家多伦·斯瓦德（Doron Swade）为洛芙莱斯描绘了下面这幅引人入胜的肖像——作为"通用计算"（general purpose computation）的先驱，她正在发现越出数学领域之外的符号操纵的潜能：

> 阿达看到了巴贝奇在某种意义上未能看到的东西。在巴贝奇的世界里，他的机器被数所束缚……而洛芙莱斯看到的……是数可以表征数量之外的实体。所以，一旦你有了一台操纵数的机器，如果这些数表征其他事物——字母、音符——那么这台机器就能按照规则去操纵符号，而数只是符号的一个实例。正是这一根本转变——从一台碾磨数字的机器，变为一台按规则操纵符号的机器——构成了从演算（calculation）到计算（computation）、亦即到通用计算（general-purpose computation）的根本转变。[41]

洛芙莱斯预感到了分析机以其不受束缚的计算能力所将开启的思辨地平线：

> 分析机与单纯的"计算引擎"（calculating machines）并无共同立足之地。它占据着一个完全属于它自己的位置；它所引发的思考在性质上极为有趣。它使机构能够以无限多样、无限延展的接续方式把一般符号组合在一起，从而在物质的操作与数学科学中最抽象分支的抽象心智过程之间建立起一个联结的环节。一种新的、广阔而有力的语言由此发展出来，供分析在未来使用，使分析得以运用其真理，令这些真理比我们迄今掌握的手段所能做到的更迅速、更精确地投入实际应用，以造福人类。这样一来，不仅心智之物与物质之物，而且数学世界中的理论之物与实践之物，都被带入了彼此更亲密、更有效的联系之中。据我们所知，尚无记录表明，任何在性质上类似于这台被如此恰切地命名为"分析机"的东西曾被提出过、甚或被设想为一种实际的可能性，正如一台会思考或会推理的机器的想法也从未如此这般地被人设想过。[42]

然而，洛芙莱斯的"注释"包含了对 AI 的第一次否弃——而当时的世界已经开始培育一种拟人化投射，想象一台能像人一样"思考"的机

器。在著名的注释"G"中，她写道：

> 分析机绝无任何自创（originate）事物的僭望。它能做的，是我们知道如何命令它去执行的任何事情。它能够遵循分析；但它没有预见任何分析关系或真理的能力。它的职分是帮助我们把我们已经熟知的东西变为可用。当然，这首先并且主要是通过其执行机能来实现的；但它也可能以另一种方式对科学自身施加一种间接的、交互的影响。因为，为了让分析的真理与公式能够最容易、最迅速地顺应这台机器的机械组合，就必须对它们加以分配与组合，如此一来，这门科学中许多主题的关系与性质必然被投入新的光照之下，得到更深入的探究。这是此项发明的一个显然间接的、多少带有思辨性的后果。不过，就一般原理而言，相当明显的是：在为数学真理设计一种新的形式，以便记录它们并将其投入实际使用的过程中，很可能会引发出一些新的见解，而这些见解又会反作用于这门学科更为理论性的层面。在人类能力的一切扩展或人类知识的一切增益之中，除了所达成的主要与首要目标之外，都还存在种种旁生的影响。[43]

分析机能够"遵循分析"，意味着它能够像一位代数学家那样，表征并体现一个问题的分析性构造。此外，分析机"没有预见任何分析关系或真理的能力"，则意味着它无法越出或打破它所表征、所物质性地体现的那条推理链——正如今天那些被重新包装为"机器学习"与"人工智能"的数据分析算法，无法创造性地打破它们所依据的规则，而且更重要的是，无法始终一贯地发明新规则。

巴贝奇很不情愿地承认洛芙莱斯的贡献，还要求她关于分析机的注释匿名发表。凭借对巴贝奇大男子主义的抵抗，洛芙莱斯毫无疑问是男性主宰的学术与科学世界中技术好奇心与解放精神的典范人物。然而，她的圣徒传式画像也必须被放回其语境之中。巴贝奇与洛芙莱斯两人的故事都属于工业时代的一种叙事：在其中，社会等级与思想债务被一种可以预料的资产阶级个人崇拜所神秘化。一个例子是洛芙莱斯的一句已沦为数码精英（digirati）套话的引文："我们可以最恰当地说，分析机编织代数的模式，正如提花机（Jacquard loom）编织花与叶。"针对这句引文的浪漫主义，夏弗（Schaffer）以一则严厉的观察与之对照："洛芙莱斯从未提出过织工的智能被一系列自动程序卡片所替代的问题，也从未提及伦敦有技术的失业工人随之而来的苦难。"[44][45]

## 物质智力（material intellect）的进军

按照巴贝奇的构想，这些计算引擎同时也是对劳动进行测量、规训与监视的工具——也就是说，是用于获取劳动之"intelligence"（智能 / 情报）的工具，至少在这个词当时尚且承载的意义上如此。事实上，按照夏弗（Schaffer）的说法，"在十九世纪初的英国，intelligence 一词同时体现着日益增长的社会监视体系，与正在兴起的关于心智的自然哲学的机械化。"早在二十世纪控制论的技术官僚野心之前，巴贝奇就已借助他的计算引擎培育出一种更宏大的、技术官僚式的社会愿景。夸张的宣传家狄奥尼修斯·拉德纳（Dionysius Lardner）宣称，巴贝奇新的机械记法（mechanical notation）系统可以用来描述和运转"一座大型工厂，或任何雇用大量人员并对其职责加以规制的大型公共机构"。[46][47]

循着类似的工业主义宣传口吻，巴贝奇论机器与制造业的著作，以一章关于英国资本主义在"抽象科学"旗帜下的宏伟进步作结。在那里，巴贝奇明确断言：科学的积累并不遵循物理力与物质生产的稀缺性法则，而是随着时间良性地自我放大：[48]

> 科学与知识在其扩展与增长上所服从的法则，与规制物质世界的法则截然相反。分子引力在可感知的距离上便告失效；重力随着与其起点距离的增加而迅速衰减；与此不同，我们离知识的起源越远，知识就变得越广大，它赋予其耕耘者的力量也越大，使他们得以为其疆域增添新的领地。[49]

诺顿·怀斯（Norton Wise）在评论巴贝奇的意识形态、及其与二十世纪关于知识社会的种种宣言的惊人相似时写道：

> 发动机的隐喻如今不断延伸：从推动机器运转的字面意义上的蒸汽发动机，到作为劳动之发动机的资本，到作为社会发动机的机器经济，再到作为实践行动之发动机的科学知识。不可避免地，科学知识在知识经济中代表着资本——一座持续以复利积累的动力储备库。[50]

这类关于知识发展的乐观见解在当时并不罕见：如下一章所示，李嘉图派社会主义者如威廉·汤普森（William Thompson）与托马斯·霍吉斯金（Thomas Hodgskin），也从工人运动的立场出发，对知识劳动的积累抱有类似的乌托邦理论。按照巴贝奇的说法，"持续增长的人类知识场域"的增长率是指数式的，而人们不禁要问（正如李嘉图派社会主义者与马克思曾经问过的那样）：这样一种知识与科学的过度生产，将对经济和资本积累产生什么影响？正是在知识与科学积累的这

一高潮处，巴贝奇预言般地宣告了一门新科学的霸权式崛起——计算的科学（science of calculation）：

> 我们必须记住，另一门更高的科学，其自身更加无边无际，也正以巨人的步伐向前迈进；它已把握住宇宙间那些更为巨大的质量体，把它们的游走化归为法则，并以它自己凝练的语言给予我们种种表达式——这些表达式之于过去如同历史，之于未来如同预言。正是这同一门科学，如今正为自然所创造的最微小的原子准备镣铐：它已几乎锁住了以太流体，并把光的一切繁复而璀璨的现象缚入一个和谐的系统。这就是计算的科学（science of calculation）——它在我们前进的每一步上都变得愈发必要，并且最终必将统辖科学对生活技艺的全部应用。[51]

在这里，意识形态压倒了巴贝奇的科学成就。虽然在书中较早的一章里，巴贝奇曾把计算的科学（science of calculation）奠基于劳动分析的原理之上，他最终却把它呈现为抽象科学的物质化身。

以一种与当代 AI 话语类似的方式，巴贝奇捕获了劳动分工（division of labour）的集体智能，并将其工具化，用以构筑一种技术官僚式的社会观。巴贝奇的修辞从未明确正视"机器问题"（Machinery Question）——那场关于工人正被机器取代的公共辩论。毋宁说，在他看来，关于蒸汽动力的知识与自动演算这门新科学仅仅意在充当生产力的乘数。用历史学家威廉·阿什沃思（William Ashworth）的话说："巴贝奇在其计算引擎上的工作，是踏着工厂的节奏行进的物质智力（material intellect）的进军。"[52][53][54]

# 3

# The Machinery Question

Question: 问：机器的作用是什么？
Answer: 答：去完成那些否则必须由人手来做的劳动，而且做得更完善、更迅速。
Question: 问：那么机器应当属于谁？
Answer: 答：属于那些被它接替了工作的人——劳动者……
Question: 问：机器的发明者是谁？
Answer: 答：几乎无一例外是工人。
Question: 问：但工人为什么不为自己使用机器？
\> No Answer!!!

The Pioneer（《开拓者报》），1833[1]

英国工人阶级的历史是从18世纪后半期，从蒸汽机和棉花加工机的发明开始的。大家知道，这些发明推动了产业革命……

Friedrich Engels，《英国工人阶级状况》（The Condition of the Working Class in England），1845[2]

那门科学——它凭借机器无生命肢体的构造，强迫这些肢体像自动机一样合目的地行动——并不存在于工人的意识之中，而是作为一种异己的力量、作为机器自身的力量，透过机器作用于他。

Karl Marx，《大纲》（Grundrisse），1858[3]

## 如何质询技术

人们普遍认为，工业革命以风暴之势席卷了英国社会，把一个按规律农业周期运转的经济，变成了一个剧烈而不稳定增长的经济。长期以来，横跨整个政治光谱，人们都接受这样的看法：资本主义一开始就是机器资本主义，甚至连工人阶级的形成与命运也系于工业机器。弗里德里希·恩格斯本人就在《英国工人阶级状况》（1845 年，本章题词即引自该书）的第一句话中宣示了这一常识。然而，他与卡尔·马克思的合作将从根本上挑战这一看似技术决定论的观点，将其转变为另一种观点：承认推动资本主义发展的主要动力是工人与劳动分工，而不是技术。[45]

在工业时代，机器开始取代工人，把他们分为熟练与非熟练劳动者，进一步把脑力劳动与体力劳动分离开来，并施加新的社会等级。然而，工人抵制这种分割。他们反抗机器、直面机器的"异己力量"；他们讨论机器的角色，冲进工厂车间捣毁机器，并最终要求开展关于机器的公共教育。这场抗议的结果，就是常被遗忘的"机器问题"（Machinery Question）——当时英国社会因新技术大规模取代工人而爆发的公共辩论。

作为研究当代人工智能的必要前奏，本章的目标不仅在于揭示机器问题（Machinery Question）背后的社会冲突，还在于揭示围绕工业机器与机器劳动而展开的更广阔的知识生产场域。早在工业时代，机器就已经提出了一个机器智能（machine intelligence）的问题——它同样可以被理解为关于机器的集体知识的匮乏。工业劳动除了其广为称颂的肌肉、能量与热力学方面的功绩之外（拉宾巴赫（Anson Rabinbach）在《人类马达》（The Human Motor）一书中对此有所记述），还牵涉到关于机器的知识、体现于机器之中的知识，以及由机器重新生产并投射出来的知识。工业时代的这一认识论维度不同于其能量维度、却又与之相关；它较少受到研究，并且在政治经济学（包括马克思主义）的浩繁文献中始终显得次要。正是从这一视角出发——也就是说，从知识生产的视角、从对工业时代知识形式的探究出发——本章希望为一个世纪的艰辛劳动投去别样的光亮，并向其致敬。[6]

历史学家 玛克辛·伯格（Maxine Berg） 在其影响深远的著作《机器问题与政治经济学的形成》（The Machinery Question and the Making of Political Economy）中指出，在工业时代，

> 机器成了资本家与工人之间关系最直接的基础。正是机器界定了劳动的组织方式，也正是机器在裁定劳动回报如何分配时掌握着权力的天平。[7]

这是对这一力场——更准确地说，对这一政治战场——的出色描述：社会与经济的各方行动者不得不在其中彼此对抗。必须立即指出的是，机器问题（Machinery Question）首先并不是工业家发起的一场运动，而首先是工人阶级的一种反应，是其要求控制并拥有技术进步这一诉求的表达。Berg 写道：

> 工人批评在直接后果将是技术性失业的情形下迅速而无计划地引入新技术。但他们并不止步于此，还进一步质疑技术的用途与财产关系。他们要求公平分配技术进步的收益。他们主张，机器与其增加少数人的利润，不如减轻多数人的劳动、增加多数人的闲暇。他们还要求对技术变革的方向拥有更大的控制权……技术进步还应当被导向改变妇女在社会中的角色，免除那些使许多妇女无法与男性平起平坐的繁重体力劳动与家务杂役。[8]

机器问题（Machinery Question）由大卫·李嘉图经典地确立于其《政治经济学原理》1821 年版新增的"论机器"一章。李嘉图的论点如下：尽管新机器确实会使商品价格降低，但工人阶级并不会因此受益，因为技术性失业所引发的工人之间的竞争会压低工资。Berg 补充道：

> ［机器］问题对于雇主（master）与工人之间的日常关系至关重要，但它同时具有重大的理论与意识形态意义。作为经济与社会之基础的技术本身，就是一个质疑与斗争的平台。机器在社会各界都得到长篇讨论。它既刺激乡村教士，也同样刺激都市知识分子；它既关乎政治家，也同样关乎工人与雇主；既关乎社会改革者，也同样关乎科学家与发明家。这些群体就新技术的成本与收益争执不下。他们欢呼机器把增长从种种限制中解放出来，却在机器对工资、就业与技能的影响上意见分歧。他们对机器将给社会关系带来的变化加以猜测，随后或表欢迎、或怀恐惧。甚至连机器的起源与所有权也成了问题。面对这股无情向前席卷、把旧社会抛在身后的未知力量，人们既兴奋又恐惧。[9]

因此，机器问题（Machinery Question）是一个复杂的现象：它是一个关乎大众文化、政治宣传、科学争议以及通过教育实施社会控制的议题。机器成了激进思想家、乌托邦工业家和社会主义（有时还有

保守派）活动人士进行智识斗争与政治占领的场所。围绕机器的意识形态斗争既涉及通俗读物与小册子、诗歌与讽刺文，也涉及工业家对机器崇拜的颂扬——跳舞的自动机、"机械土耳其人"，以及作为旅游景点陈列在公共广场上的工业发动机。查尔斯·巴贝奇就以在其沙龙中展出一具女性化的跳舞自动机而闻名，"就在放置第一台差分机未完成部分的那间屋子隔壁"。正如伯格所强调的，政治经济学作为一门新学科的兴起，本身就是控制机器问题（Machinery Question）这场智识斗争的一部分。[101112]

对机器的使用及工人随之而来的技术性失业，工人与工业家双方的回应还包括：要求更多关于机器的知识、更多的教育和更好的培训，这体现为技工讲习所（Mechanics' Institute）运动等诸多倡议。1823年，伦敦技工讲习所（London Mechanics' Institute）成立，即后来的Birkbeck University——它至今仍保留着拉丁文校训 In nocte consilium（"良谋夜半来"），因为学生们习惯于（更准确地说，是被迫）在结束一天的轮班之后去上晚间与夜间课程。1826 年，未来的大法官 Henry Brougham 创立了实用知识传播会（Society for the Diffusion of Useful Knowledge），以帮助那些无法接受学校教育的人；同年，伦敦大学（后来的 University College London）成立。欧文主义者 Hawkes Smith 甚至为教育锻造出机械隐喻："有一种智力机器、一种精神蒸汽动力正在运转，其作用还在不断上升，它使教育对财力微薄之人而言，相应地变得如同他的衣物与家用陈设一般便宜、一般可得。"人们确实已经遗忘：英国学术版图的相当一部分，正植根于工业革命的这场认识加速之中。[1314]

在机器问题（Machinery Question）的名义之下，人们争论的是哪些知识形式？被理解为技能与机械发明的知识、应用科学而非抽象科学，是工人、工程师、教育者和工业家的使命。技工讲习所（Mechanics' Institute）正是这一趋势的化身，用伯格的话说，它们寻求"科学与技能的最优结合……一种更高形式的熟练劳动，一种摆脱了劳动分工的贬损、并被注入创造与革新本能的劳动"。人人都坚持认为经济增长系于新机器的发明，并把智力视为机器中的机器；然而，智力在这一过程中的角色当时并不完全清楚（时至今日依然如此）。[15]

在这场辩论中，马克思大概是最具原创性、最敏锐的声音之一。他质疑那种把机器当作工业资本主义第一推动者的技术决定论。他颠倒了人们对技术与经济之间关系的通常看法，主张技术发展（生产资料）是由劳动分工（生产关系）触发的，而不是相反。按照马克思的看法，推动资本主义积累的是对剩余价值的剥削、是不断扩大的劳动分工，而不是技术加速。在他看来，发明机器的是从劳动分工中涌现出来的智能，是雇主（master）与工人们那种自发而分布式的认知，而不是科学本身。科学只是在事后才登场，去改进那些从某种社会构型中涌现出来的机器。确切地说，对马克思而言，推动资本主义运转的那个真正的异己力量不是机器，而是活劳动。[16]

对机器问题（Machinery Question）的这些素描，旨在揭示工业时代智识宇宙背后社会力量的完整光谱，而不是把技术决定论当作解释该时代的主导理论来接受。事实上，在那个时代，社会形式、技术形式、科学形式与文化形式之间上演着一种复杂的辩证法，它无法被还原为其中任何一种形式。穿越工业时代的知识模型与知识生产样态，其扩展清单至少应包括：机器发明这一行为所代表的那类知识；启发机器设计的劳动分工；工程技艺的诀窍（know-how）以及描述机械装置所必需的符号语言；力学与热力学等硬科学；政治经济学等非技术学科；体力劳动与脑力劳动的计量学及测量它们的仪器；体现在机器与社会关系两者之中的集体知识（即所谓的"一般智力"（general intellect））；技工讲习所（Mechanics' Institute）之类的教育运动；"智识进军"（March of Intellect）之类的政治运动；最后，还有围绕"机械土耳其人"等自动机的大众神话。机器问题（Machinery Question）包含了所有这些处于争议之中的知识形式。这并不完全是一部公开的历史——一部由可见的运动与效应构成的历史——而更多是一部无名的历史：一部隐形化（尤其是妇女劳动的隐形化）的历史，一部围绕脑力劳动等政治经济学早期概念的政治失忆的历史。

为了对抗劳动力被隐形化的魔咒，尤其是为了更好地理解脑力劳动在随后一个世纪遭到的妖魔化，理解脑力劳动为何从关于技术的辩论中消失，本章从两个相反的角度，扩展上一章关于巴贝奇的机器的劳动理论的思考。一方面，本章阐明知识在劳动之定义中的影响，勾勒出一种劳动的知识理论（knowledge theory of labour）（十九世纪的李嘉图派社会主义者与二十世纪的知识经济学家以同样的方式珍视这

一理论）。另一方面，本章阐明新机器与新仪器对新知识之发展的关键影响，扩展出一种科学的机器理论（machine theory of science），后者对本书的唯物主义认识论至关重要。

## 劳动的知识理论（knowledge theory of labour）

对知识与劳动之关系的研究，一直因科学在现代所维持的霸权而变得复杂——正是科学在界定并强制施行着社会等级。科学建制的认识论帝国主义，遮蔽了劳动、手艺、实验以及种种自发知识形式在技术变革中所扮演的角色：人们至今仍普遍相信，唯有把科学应用于工业才能发明新技术、推动经济增长，而事实上这种情形极为罕见。实际上，十九世纪早期的政治经济学已经承认脑力劳动的生产性作用，也承认任何形式的体力劳动在技术发明中的知识成分。例如，威廉·汤普森（William Thompson）和托马斯·霍奇斯金（Thomas Hodgskin）这样的李嘉图派社会主义者，就提供了一种远远早于二十世纪知识社会理论家的脑力劳动分析。他们的立场在本书中被阐述为一种劳动的知识理论（knowledge theory of labour）：据此理论，劳动的主要成分不是肌肉的、身体的、能量的，而首先是心理的、智力的、信息的。

威廉·汤普森是"一位拥抱欧文主义（Owenism）的爱尔兰地主，他从空想社会主义立场出发、但以李嘉图的学说为基础批判政治经济学"。1824年，汤普森出版了一本此后被人遗忘的著作，书名透着乐观：《对最有利于人类幸福的财富分配原理的探究：应用于新近提议的自愿财富平等制度》（An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth Most Conducive to Human Happiness Applied to the Newly Proposed System of Voluntary Equality of Wealth）。汤普森在书中给出了现代对知识劳动（knowledge labour）最早的系统定义之一：[17]

> 在谈论劳动时，我们始终把指导该劳动所必需的知识量包括在这个词里。没有这种知识，劳动便不过是不指向任何有用目的的蛮力。无论这种知识以何种比例——是全部还是部分——为生产劳动者本人所掌握，还是为指导其劳动的人所掌握，要使劳动具有生产性，就必须有某个人掌握它。[18]

颇具先见之明的是，汤普森指出，知识经济所遵循的扩散规则，不同于物质产品的稀缺经济，而是由持续的扩张与自由的增殖所驱动：

> 财富，即劳动的产物，其供给必然是有限的……而从知识的获取、占有与传播中得到的快乐则不然。知识的供给是无限的……它传播得越广，就越是自我增殖。

然而，汤普森也察觉到工具性知识的两面性，堪称一种先于其名的"启蒙辩证法"（dialectics of enlightenment ante litteram）。在一段典型的欧文主义（Owenism）论战文字中，汤普森描述机器如何羞辱工人的"一般智力能力"（general intellectual powers），把他们贬抑为"受操练的自动机"（drilled automata）。工厂是一套装置，用来让工人"对调节机器的秘密发条一无所知，并压制他们心智的一般能力"，以致"他们自己劳动的果实被上百种巧计从他们手中夺走"。马克思在《资本论》中对汤普森的这段引用，正是这一思想的完美提炼：[19]

> 有知识的人与从事生产的劳动者彼此日益远离，而知识非但没有作为劳动的婢女留在劳动者手中以增进其生产力……反而几乎在所有地方都把自己摆到了劳动的对立面。"知识"变成了"一种能够脱离劳动并与劳动相对立的工具"。[20]

汤普森的论述不仅是对知识劳动（knowledge labour）以及一切劳动之认知成分的第一份现代说明，而且也认识到了知识从工人那里的异化，认识到它转变为一种敌视工人自身的压制性权力。

类似的立场也由托马斯·霍奇斯金提出。霍奇斯金是一位带有自由意志主义倾向的李嘉图派社会主义者，他相信集体知识的进步，也相信社会兼对资本与国家干预的自主。霍奇斯金是伦敦技工讲习所（London Mechanics' Institute）的创办人之一，并于1826年在那里发表了讲演《论知识的影响》（'On the Influence of Knowledge'），该文后来收入他的著作《大众政治经济学》（Popular Political Economy，1827）。汤普森和霍奇斯金这样的社会主义者主张，知识是经济繁荣的关键。霍奇斯金抱怨政治经济学之父亚当·斯密没有恰当地处理这一主题，评论道：

> 因此，那些名为政治经济学之《要义》《原理》或《体系》的书，凡是没有涵盖并充分阐发……知识对生产力的全部影响、没有解释调节社会知识进步之自然法则的，作为政治经济学论著，就必然在本质上是不完整的。[21]

在一个鲜明的反马尔萨斯论证中，霍奇斯金把知识的良性增长锚定在不断增长的人口的需要之上，由此也把知识生产的领地从国家学院与科学建制的垄断中夺回。他积极地宣称："必要乃发明之母；而必要之所以持续存在，只能由人口的持续增加来解释。"在霍奇斯金看来，正是人口的增长要求人们在生产和分配财富上具备更高的技能，从而生成更先进的知识："随着世界变老，随着人类的增加与繁衍，他们的知识、进而他们的生产力，存在一种恒常的、自然的、必然的增长趋势。"和汤普森一样，霍奇斯金认为知识经济的规则并非资本主义的规则："调节资本积累与资本使用的法则，与调节知识进步的法则截然不同、互不相干。"在霍奇斯金的社会观中，不应有智力上的等级制，不应有头与手的分工，不应扶植任何劳动贵族（labour aristocracy），因为"脑力劳动和身体劳动几乎每个人都在从事。"[2223]

## 脑力劳动的妖魔化

正如伯格所指出的，对机器问题（Machinery Question）的参与者以及技工讲习所（Mechanics' Institute）运动中的人们来说，那种表面上善意的对手艺的礼赞，实际上被用来分裂工人阶级，并煽动一个人为炮制的"劳动贵族"（labour aristocracy）去模仿资产阶级习俗：

> 技工讲习所运动中关于技术进步与经济改善之关联的修辞……意在促成劳工运动内部等级制的正式化。熟练工匠要与非熟练的普通劳动力分开，而两者又都要与中产阶级隔开。这一制造"劳动贵族"（labour aristocracy）的设计，还辅之以种种促进劳动力规训的努力。[24]

通过在其他天才人物（如科学家和哲学家）之侧培育巧匠这一形象，工业家阶级旨在按照去技能工人与熟练工人的等级来分裂无产阶级，并对劳动施加逐步的规训。而工人运动一方则力争维持一条统一战线，使非熟练工人与熟练工匠能够把彼此视为政治对抗中的同一阵营。但为了守住这一阵地，出于策略上的理由，它不得不把脑力劳动的差异掩藏并吸收进体力劳动之中，把个体劳动的差异掩藏并吸收进集体劳动之中。就政治战略而言，为了统一一条分裂的战线，就有必要宣告*一切劳动都是体力的*（却不能同时暗示一切劳动也都是脑力

的）。一切集体知识，包括技能、诀窍（know-how）乃至科学，都必须由此成为*共同劳动*（labour in common）的表达。

最终，工人运动内部这种针对知识之社会等级制的反抗，导致其队伍中拒绝给予脑力劳动以地位，并以这种方式不自觉地采纳了一种资产阶级的社会区隔。正是为了维护工人的政治统一，脑力劳动才被逐出了机器问题（Machinery Question）。此后，对体力劳动的聚焦强加了一种把劳动仅仅解释为能量表现的解读（正如拉宾巴赫所指出的，就连马克思的"劳动力"[Arbeitskraft]原本也是一个来自热力学的概念）。中产阶级对脑力劳动与体力劳动的区别对待，和工人阶级把脑力劳动中和进体力劳动之内，两者都为工业时代社会力量场内的政治策略理由所支配。引人注目的是，二十世纪对十九世纪脑力劳动理论的遗忘，其解释恰恰在于工人运动在与资本家阶级对抗中所展现的力量。[25]

马克思在组织这场对脑力劳动的政治遗忘上扮演了一个特定的角色（见第四章）。尽管熟悉汤普森和霍奇斯金并引用过两人，马克思在《资本论》中删去了对脑力劳动、知识劳动（knowledge labour）和"一般智力"（general intellect）的全部指涉，代之以劳动分工的发明能力和总体工人（collective worker，即 Gesamtarbeiter）这一新形象。追随巴贝奇，马克思采纳了这样一个观念：发明机器的是扩展了的劳动分工，而不是科学。这样一来，马克思就把汤普森和霍奇斯金的劳动的知识理论（knowledge theory of labour）倒转为更加唯物主义的*知识的劳动理论*（labour theory of knowledge）：在后者中，那些自发的、无意识的、默会的、集体的劳动形式，最终也被承认在生产知识。然而，工业机器终究使熟练劳动与去技能劳动之间的距离两极分化了。正如马克思尖锐的总结："由于采用机器，社会内部的分工增长了，工人在工场内部的任务简化了，资本积聚了，人则进一步被肢解了。"正是在此基础上，伯格得出结论："机器并没有取代劳动。毋宁说，它通过肢解旧的手艺而使这种劳动分化了。"[26][27]

头与手、脑力劳动与体力劳动的区分，并不只是现代工业社会的典型现象；至少自古希腊亚里士多德将 episteme（"知识"）与 techne（"技艺"或"手艺"）相对立以来，它就一直是西方文化的一部分，后来更在整个西方成为界定社会等级的功能性工具。彼得·达默罗

（Peter Damerow）这样的数学史家，实际上把脑力劳动与体力劳动的社会分离进一步前推到诸文明的黎明时分——其起因是清点人口、规划农业和管理资源的需要。对抽象符号的控制后来发展为文字与精神的领地，发展为一种绵延长久的社会阶级区隔，正如科学史家莉萨·罗伯茨（Lissa Roberts）与西蒙·谢弗（Simon Schaffer）所记述的：

> 那些自封的脑力工作者，如哲学家、科学家、政策制定者和官僚，从那时到如今，都宣称并构筑起他们的"理解"对手工劳动者及其手艺的统辖。他们依靠的是强制性修辞与粗暴行径的相互加持。对他们那些范畴的轻易接受，给我们留下了一幅由对立且按等级排序的成对概念所塑造的历史地图：学者/工匠、科学/技术、纯粹/应用、理论/实践。[28]

因此可以说，现代意义上的第一次劳动分工，就是头与手的分离——它从文艺复兴的作坊中逐渐浮现，而恰恰是在工业工厂里，它作为脑力劳动与体力劳动的分工而被彻底切断。例如，科学史家埃德加·齐尔塞尔（Edgar Zilsel）曾记述，就连所谓科学革命的"英雄们"（如伽利略·伽利莱），在秘密作坊、隐蔽书房和流动课堂里学到的东西，也多于在大学里学到的。罗伯茨和谢弗则提出了"用心之手"（mindful hand）这一优雅意象，用以承认并重新缀合贯穿整个现代时期的体力劳动、机械实验与科学工场的巧思，而不像保守话语惯常所做的那样把手艺浪漫化。与其以反动的方式培育工匠的乡土"英雄主义"，"用心之手"（mindful hand）的意象强调的是实验生活及其发明的共生欢愉（convivial）维度。[2930]

工业现代性正是通过国家与经济装置、通过知识建制与知识技术对这种集体知识的捕获而确立自身的，这一捕获最终把脑力劳动变成了一个 Geist——用这个歧义的德语词来说——与其说是一种智识之灵，不如说是一个幽灵，一个政治理论至今仍难以把握的幽灵。脑力劳动从工人和社会协作那里被榨取出来，从而具有了一个半隐半现的恶灵的性质：一个出于相反的理由、既要被工人运动也要被公司利益驱魔祛除的政治议题。[31]

## 科学的机器理论（machine theory of science）

工具制造者与机器操作者知道，他们正在为新技术的发明作出贡献。但他们很少意识到的是，他们同样在为新的科学发现作出贡献。相比科学从上而下地发明新技术，更常见的情形是新机器催生了科学观念与范式转变。正如前文提到的一个例子，是蒸汽机催生了热力学，而非相反。研究热与能量转化的这门科学，是为了改良蒸汽机才发展起来的：它是对自主运动之逐利野心的投射，而不仅仅是对宇宙之好奇心的产物。在研究那些经历机械化的知识形式时，同样重要的是要凸显机器所重新表达出来的关于世界的知识。工具、仪器与机器投射并构成了关于世界的科学理论之本体论——这一观念可以被界定为科学的机器理论（machine theory of science）。正如彼得·达默罗（Peter Damerow）与沃尔夫冈·勒费弗（Wolfgang Lefèvre）等人所强调的，劳动的工具也是探索并思辨世界的工具：“科学的发展依赖于其物质工具的发展……使用一件物质工具时，所能学到的总是比投入其发明中的知识更多。”然而，达默罗与勒费弗同样强调，科学从来不能完全独立于其仪器的物质性：[32]

> 科学在形成其抽象时并不是自由的；在这一活动中，它受到物质前提的限制，更确切地说，受到它所能支配的特定工具的限制，这些工具为认知提供了可以被实现的抽象……科学劳动的物质工具界定了一个客观可能性的范围，而这一范围构成了发展科学抽象的框架。[33]

然而，工具与机器在其意涵上从来都不是完全透明的。机器诞生为实验，而它们常常在人们并不完全了解其运作机理的情况下被操作。科学之所以被发展出来，是为了填补我们关于机器（而不仅仅是关于宇宙）之知识中的这些盲点。另一方面，对自然的知觉往往是以机器为基础的，这不仅是因为仪器对知觉的中介作用，还因为机器间接地影响了整个科学范式的本体论。例如，直到二十一世纪，关于时间的标准理论仍然建立在熵的不可逆之箭上，而这一不可逆之箭最初正是在蒸汽机的腔室中被遭遇并被概念化的，随后才被确立为热力学第二定律。可以毫不夸张地说，直到今天，人们仍然是从一台工业发动机的腹中去知觉宇宙的。[34]

1931 年，鲍里斯·赫森（Boris Hessen）以其讲演《牛顿〈原理〉的社会与经济根源》，将科学史与技术史奠定在历史唯物主义的方法之上，论证牛顿的努力得益于那个时代的工具与机器，而这些工具与

机器不出意料地也正是那个时代的主要生产资料：水渠运输技术、采矿业中使用的水泵与滑轮、新型火器及其弹道控制，等等。更晚近地，彼得·加里森（Peter Galison）通过分析牛顿时代与爱因斯坦时代各自对时间的技术知觉以及对同步化的界定，来解释牛顿物理学与爱因斯坦物理学之间的差异：在牛顿那里，一套中心化的普遍钟表机构维持着一种统一的时间；而在爱因斯坦那里，则是一个由电话等新型通讯网络连接起来的"机电世界"。回到工业时代，科学与技术的历史认识论（historical epistemology）提示我们，应将机器智能（machine intelligence）这一课题重新审视为一面反射着多种知识形式的棱镜。将其定义拓展到一个更大的时间尺度上，"机器智能（machine intelligence）"这一表述最终至少获得四重含义：（1）人对机器的知识；（2）机器设计所体现的知识；（3）被机器自动化的人类任务；以及（4）通过机器的使用而成为可能的关于宇宙的新知识。[35][36]

## AI 时代的机器问题（Machinery Question）

工业机器是一种强有力的人工物，因为它把能量与物质、知识与科学之间的关系，尤其是资本与劳动之间的关系，交织于一物之中。在这个意义上，工业机器似乎是资本主义诸多矛盾的化身，是一场社会与意识形态斗争的具体场所。一种类似的、对技术之政治中心性的迷恋一直延续至今，反复重演着关于工业时代的那些暧昧印象。例如，学院式的技术决定论与企业式的技术解决主义，今天都把它视为政治问题的核心。然而，把技术当作政治冲突的唯一场所，将是一个严重的错误。正如本书试图阐明的，社会关系、尤其是劳动协作，才是技术与政治发展的"引擎"。但是，就其自身而言，这样的社会关系以及劳动这一范畴本身，都必须被加以审视。顺便问一句，劳动协作究竟由什么构成？劳动这一概念是如何被十九世纪与二十世纪的政治经济学建构、使用、叙述并分析的？这并非一个无关紧要的问题，因为今天仍在使用的劳动观念，是十九世纪的一份遗产，是那个时代大胆的政治对抗的产物：即把劳动视为一种往往不含任何脑力成分的体力活动。

工业资本主义不仅是对劳动与生产的一种能量式强化；它还是劳动分工（division of labour）与社会关系的一次转变，以至于成为一种新型知识生产的母体——不仅是数学、力学与物理学，而且是最为多样的各类知识。在十九世纪初，诸如汤普森（Thompson）与霍奇斯金（Hodgskin）这样的李嘉图派社会主义者就已经在讨论“脑力劳动”的社会潜能与心理意涵，主张知识是劳动的首要来源。诸如马克思这样的其他政治经济学家表示赞同，但同时论证：脑力劳动与体力劳动不加区分地都是集体知识的来源。正是在工业时代的工场附近，现代计算最终作为把脑力劳动之分工加以机械化的方案而诞生，正如巴贝奇（Babbage）用其计算机所做的实验那样。

本章探讨了这样一个假说：在工业时代，知识与智能构成了劳动与资本之间真正隐藏的交易。正如我们所见，一切劳动，无一例外，过去是、如今仍是认知性的、生产知识的。劳动最重要的成分不是能量与运动（这两者易于自动化并被替代），而是知识与智能（在 AI 时代它们远未被完全自动化）。工业时代也是技术智能之原始积累的时刻，即作为从劳动中剥夺知识的时刻。AI 如今是同一过程的延续：它是把集体知识系统性地机械化并资本化，纳入新的装置之中，纳入机器学习的数据集、算法与统计模型等技术之中。归根结底，不难把 AI 设想为总体工人（collective worker）的一个晚近化身，即那个在马克思看来是工业生产之主角的总体工人（Gesamtarbeiter）。正如我们将要看到的，十九世纪的机器问题（Machinery Question），对于弄清如何在 AI 时代质询这一普遍化的自动化过程，同样具有标志性的重要意义。恰如其分地，2016 年《经济学人》发表了一篇关于 AI 的特别报告，预告了“机器问题的回归”。[37]

# 4

# 马克思一般智力（general intellect）的起源

> 整个共同体——无论男女——的一般智力（general intellect），都在幼年时被扼制或扭曲，更常见的是二者兼有；其根源在于剥夺女性去获取男性所拥有的知识……对于这些几乎普遍存在的、使半数人类沦为家庭奴役的制度所生出的种种祸害，唯一而简单的救治办法，就是彻底根除它们。给予男女平等的公民权利与政治权利。
>
> 威廉·汤普森（William Thompson），《财富分配原理探究》，1824年 1[1]

> 距本国一般智力（general intellect）首次获得推动，已近二十年——这一推动来自一套教授读写的新机械系统的引入，其方法比先前通行者更廉价、也更有效……公众心智已无限进步：尽管有种种对'智识进军'（'march of intellect'）这一说法的讥讽，事实却不可否认——本国的一般智力（general intellect）已大有长进。而扩展了的智识所结出的首批果实之一，便是如今正迅速成为普遍共识的信念：我们的法律制度非但不是世界上最好的，反而极其糟糕；并且最迫切地需要修订与改革。
>
> 《伦敦杂志》（London Magazine），1828年 2[2]

> 固定资本的发展表明，一般社会知识在多大程度上已成为直接的生产力，从而也表明，社会生活过程本身的种种条件在多大程度上已受一般智力（general intellect）的控制，并按照它而被改造。
>
> 卡尔·马克思（Karl Marx），《大纲》（Grundrisse），1858年 3[3]

## 智识进军（The March of Intellect）

漫画家威廉·希思（William Heath）1828年创作的一幅漫画，属于'智识进军'（'March of Intellect'）系列，画的是一个巨大的自动机（automaton）迈着大步前进，手持一把扫帚，把一群灰头土脸的书记员、教士与官僚扫走——他们代表着旧秩序的人物与过时的法律（见图4.1）。这个自动机的腹部是一台蒸汽机，头部则由历史、哲学以及（重要的是）力学的书籍构成。它的王冠上写着'伦敦大学'（'London University'）。在背景中，正义女神倒卧于废墟之中，向自动机呼唤：'哦，来解救我吧！！！'乍看之下，这幅漫画似乎是对民主理想与智识进步的颂歌，但仔细观察，这幅讽刺画意在嘲弄这样一种信念：认为工业自动化的技术（已然形似机器人）在公共教育的号令下，可能成为政治变革与社会解放的真正主体。事实上，希思这一系列讽刺版画最初是保守党（Tories）委托创作的，用以表达他们对知识与技术在各阶级间可能实现民主化的挖苦。然而，凭借他富有远见的画笔，这些作品却意外地成为进步阵营与未来发明的宣言。4fig. 4.1[4]

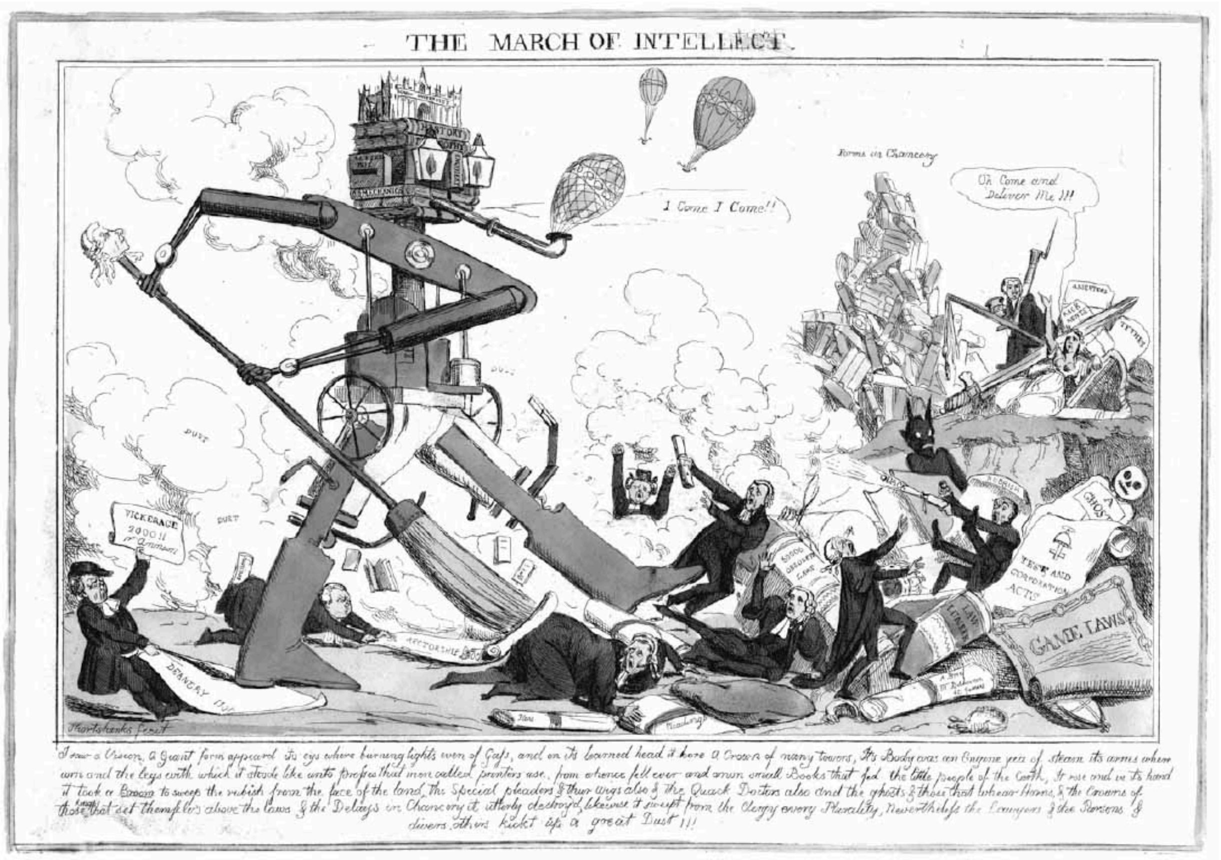



图4.1。威廉·希思（William Heath），《智识进军》（'The March of Intellect'），约1828年，版画，大英博物馆。

作为工业革命时期在英格兰发起的一场运动，'智识进军'（March of Intellect），又称'心智进军'（'March of Mind'），要求通过面向下层阶级的公共教育计划来医治社会的种种弊病。'智识进军'（'March of Intellect'）这一说法由实业家兼空想社会主义者罗伯特·欧文（Robert Owen）在1824年致《泰晤士报》（Times）的一封信中提出，他评论说近年来'人类心智在关于人性的知识以及一般知识方面，迈出了最迅速、最广泛的步伐'。这场运动引发了一种反动的、且不出所料带有种族主义色彩的反扑：《泰晤士报》开始以最恶劣的殖民心态、用诸如'非洲的智识进军'这类挖苦标题来嘲笑工人阶级的抱负。作为一场同时争取识字与技术进步的运动，'智识进军'（March of Intellect）是前一章所考察的所谓机器问题（Machinery Question）的一部分。1828年，《伦敦杂志》为了'本国一般智力（general intellect）'的利益而支持'智识进军'（March of Intellect）——其编辑们主张，得益于大众教

育，本国的一般智力（general intellect）将会理解到改革一套日渐腐朽的立法体系的必要。1858年，当马克思在《大纲》著名的'机器论片段'中（用英文）使用'一般智力'（'general intellect'）这一说法时，他所回响的正是'智识进军'（March of Intellect）的政治氛围，以及'一般社会知识'的力量——在他的解读中，这种力量削弱并颠覆的是资本主义的锁链，而非旧制度的锁链。9[56789]

但马克思首次接触到一般智力（general intellect）这一观念，尤其是接触到'知识一旦被机器异化，便可能成为敌视工人的力量'这一论点，恰恰是在威廉·汤普森（William Thompson）的《财富分配原理探究》（1824年出版，正是欧文发起'智识进军'的同一年）中。这本书包含了很可能是关于脑力劳动的第一份系统论述——其后是托马斯·霍奇斯金（Thomas Hodgskin）在《通俗政治经济学》（1827年）中的论述，以及查尔斯·巴贝奇（Charles Babbage）在《论机器与制造业的经济》（1832年）中将脑力劳动机械化的方案。此后，由于技工讲习所（Mechanics' Institute）的衰落以及工人运动内部的策略性决定，脑力劳动这一概念在机器问题中遭遇了不利的命运。[1011]

在此背景下，当二十世纪的作者们开始分析所谓的知识社会，并自以为是第一次讨论符号劳动、信息劳动与数字劳动的诸种形式时，他们其实是在一个政治失忆的领域中运作。事实上，马克思本人也对造成这种失忆负有部分责任。虽然他研读过汤普森与霍奇斯金的政治经济学，却把他们对脑力劳动的强调视为对个人创造力的颂扬——视为对天才工匠、机巧的工具制造者与勇敢的工程师的崇拜——从而与共同劳动相对立：在《资本论》中，马克思有意用'总体工人（collective worker）'或总体工人（Gesamtarbeiter）取代了脑力劳动者。马克思拒绝使用脑力劳动这一概念，是由于难以将集体知识动员到站在工人一方的运动中。知识与教育的实质使得它们只能被召唤去进行普世性的斗争（为了'本国的一般智力（general intellect）'），而非站在无产阶级一方的党派斗争。此外，自《德意志意识形态》以来，黑格尔的绝对精神（absolute spirit）概念便显现为马克思历史唯物主义方法的对立面：马克思把他那句著名的反黑格尔命题'不是意识决定生活，而是生活决定意识'移植到工业化的英格兰，以便主张：不是知识决定劳动，而是劳动决定知识。13[1213]

传统上，对马克思主义而言，只要任何一种劳动都是抽象劳动——即为生产剩余价值之利益而被度量与货币化的劳动——那么体力劳动与脑力劳动之间的区分便在资本面前烟消云散。下文认同这一传统的出发点，但接下来会偏离正统马克思主义的立场。我想要考虑的是：任何与劳动的机器性接口都是一种社会关系，正如资本一样；而机器，正如货币一样，中介着劳动与资本之间的关系。既与马克思一同思考、又超越马克思，我要强调：任何技术都会影响抽象劳动的度量（metrics）。为此，本章追溯马克思一般智力（general intellect）的起源，以便重新考量早期政治经济学中那些悬而未决的问题，例如知识的计量经济学——这些问题在今天正变得日益重要。在当前关于集体知识被异化进企业AI的争论中，我们其实仍在听到十九世纪机器问题（Machinery Question）那笨拙的回响。[1415]

## 马克思《机器论片段》的发现

关于脑力劳动与知识经济的精致概念，早在维多利亚时代的黎明便已被提出，而且当时就已被赋予激进的解读。例如，马克思在其《大纲》中论及技能、知识与科学的经济角色，尤其是在后来被称为'机器论片段'的那一节里。在那里，马克思探讨了一个未在《资本论》中重申的非正统假说：由于一般智力（general intellect）的积累（尤其是作为体现在机器中的科学与技术知识），劳动将变得对资本主义积累而言是次要的，从而引发劳动价值论的危机，并把资本主义的根基炸上天。1989年之后，马克思的'机器论片段'被意大利后工人主义（post-operaismo）复兴，作为对向后福特主义（post-Fordism）以及知识社会与信息经济范式过渡的一种先见性批判。自那以后，许多作者——包括一些马克思主义之外的人——把这段深奥的片段动员起来，作为对各种经济危机的预言，尤其是在互联网泡沫与2000年股市崩盘之后。马克思的'机器论片段'如何甚至抵达了关于人工智能与后资本主义的争论，这是一段值得重述的文献学冒险。18[161718]

《大纲》是'马克思在1857至1858年冬季主要为自我澄清而草拟的一套七本笔记本'。的确，这些笔记本频繁揭示了十年后出版的《资本论》的探究方法与潜文本。然而《大纲》直到二十世纪才得以出版

——1939年在莫斯科，1953年在柏林——这意味着它进入马克思主义论争的时间，几乎比《资本论》的出版晚了一个世纪。虽然部分意大利文译本自1956年起开始流传，完整的英译本却要到1973年才问世。将《大纲》第6、7两本笔记本特别命名为'机器论片段'之所以成为定论，源于拉涅罗·潘齐耶里（Raniero Panzieri）的编辑抉择——他在1964年《红色笔记》（Quaderni Rossi，意大利工人主义（operaismo）的刊物）的一期上，以'机器论片段'（'Frammento sulle macchine'）为标题发表了它们的译文。同一年，德国哲学家赫伯特·马尔库塞（Herbert Marcuse）在其《单向度的人》中借用了第6、7两本笔记本，讨论自动化的解放潜能。1972年，吉尔·德勒兹（Gilles Deleuze）与费利克斯·加塔利（Felix Guattari）在《反俄狄浦斯》的一个脚注中也把它们称作'关于自动化的章节'。同年，它们以'机器论笔记'（'Notes on Machines'）为题在《经济与社会》杂志上部分发表。1978年，安东尼奥·奈格里（Antonio Negri）在巴黎（应路易·阿尔都塞之邀）主持的'超越马克思的马克思'研讨班上，对'机器论章节'作了详尽评注，将其置于前一个十年社会对抗的背景下解读。但只有在柏林墙倒塌之后，意大利后工人主义（post-operaismo）才重新发现并推广了'机器论片段'。1990年，哲学家保罗·维尔诺（Paolo Virno）在《共同场所》（Luogo comune）杂志上唤起人们对一般智力（general intellect）概念的关注。他以对意大利式西部片（Spaghetti Western）的反讽致意，早已在警告这一概念反复复兴的周期性：[19][20][21][22][23][24]

> 在西部片中，主人公面对最具体的两难困境时，常常会引用《旧约》中的一段话……卡尔·马克思的'机器论片段'自1960年代初以来，正是这样被阅读和引用的。我们曾多次回溯这些篇章……以便对工人罢工那前所未有的性质、对流水线上机器人的引入与办公室里计算机的引入，以及对某些青年行为方式，作出某种解释。'片段'历次被解读的历史，是一部危机与新起点的历史。25[25]

维尔诺解释说，'片段'在1960年代被引用，是为了质疑科学在工业生产中所谓的中立性；在1970年代，是作为对国家社会主义中劳动意识形态的批判；最后在1980年代，则是作为对后福特主义诸种趋势的承认——然而并没有像马克思所期望的那样带来任何解放性或冲突性的反转。当马克思主义学者力求在解读一般智力（general intellect）时具备更高的文献学严谨性时，激进分子则在当下社会转型与斗争的

语境中更新其解读。后工人主义（post-operaismo）以其著名的方式，从马克思的一般智力（general intellect）中锻造出新的对抗性概念，诸如'非物质劳动'、'大众智识'与'认知资本主义'，强调'活知识'相对于资本的自主性。然而，前一章所讨论的机器问题（Machinery Question）中有一条值得重提的教训：集体知识的问题绝不应与它在机器、测量工具以及文化技术（Kulturtechniken）中的体现相分离。的确，二十世纪人工智能的运用，已经突兀地提醒每个人：知识可以像体力劳动一样被成功地分析、度量与自动化。[26]

学者们曾追问'一般智力'（'general intellect'）这一说法从何而来，因为它在《大纲》中仅以英文出现过一次。维尔诺认为自己察觉到了亚里士多德的'能动理智'（nous poietikos）与卢梭的'公意'（volonté générale）的回声。由于'片段'所遵循的论证脉络与《资本论》第14、15章关于劳动分工与机器的部分相似，那些缺失的来源能在《资本论》这些章节的脚注中找到，这并不令人意外。这些共同的论证脉络，从根本上回响着巴贝奇的机器理论；而正是通过追溯马克思在《资本论》第14章对巴贝奇的解读，一般智力（general intellect）这一概念才能被可靠地追溯到威廉·汤普森（William Thompson）的'知识劳动'（knowledge labour）概念。[27]

## 马克思对巴贝奇的解读

1832年，巴贝奇告诫他的工业家同侪：「[英格兰]的工场里蕴藏着一座丰富的知识矿藏，却往往被较富裕的阶级所忽视。」循着这一将工业工场视为「平凡的智识之地」的邀请，西蒙·沙弗（Simon Schaffer）发现，「巴贝奇最敏锐的伦敦读者」正是马克思。的确，早在1847年流亡布鲁塞尔期间，马克思就已在《哲学的贫困》中引用过巴贝奇，并自此采纳了两条分析原理——它们后来在《资本论》中成为构建一套稳健的机器理论、以及奠定相对剩余价值理论的枢纽。[28][29]

第一条是机器的劳动理论，它主张一台新机器会去模仿并替换先前的一种劳动分工。如前文所考察，这一观念亚当·斯密已经提出，但巴贝奇凭借其更丰富的技术经验作出了更好的阐发。第二条分析原理是

「巴贝奇原理（Babbage principle）」，同样在前文讨论过，此处被重新命名为劳动计算原理（principle of labour calculation）。它主张：将一个生产过程组织为若干小任务（劳动分工），就使得每一项任务恰好只需购买其所必需的那一份劳动量（价值的划分）。就此而言，劳动分工不仅提供了机器的设计，也提供了一种用以校准和计算剩余劳动榨取的经济配置。在诸如泰勒制这样复杂的管理形式中，剩余劳动调控原理通向一种钟表机械式的劳动观，劳动在其中可被进一步细分，并重组为算法式的组装体。这两条分析原理的综合，在理想上把机器描述为一种装置，它主动地把一种关于劳动的新的分节与度量反投回去。在《资本论》的篇章里，工业机器不仅显现为规训劳动的调节器，也显现为度量相对剩余价值的计算器，呼应着巴贝奇计算引擎的数值精确性。

在此，我将透过巴贝奇两条分析原理的透镜来解读《大纲》与《资本论》。我们将看到，马克思如何运用巴贝奇的机器的劳动理论来立起总体工人（collective worker）这一形象——作为一般智力（general intellect）的某种再生化身；进而，又如何运用巴贝奇的剩余劳动调控原理来勾勒相对剩余价值的观念。合而观之，巴贝奇的两条原理表明：《大纲》中的一般智力（general intellect）在《资本论》里演化为一个机器式的总体工人（collective worker），几乎带有一种原控制论有机体的特征，而工业机器则成为度量这个赛博格所生产的相对剩余价值的计算器。

在讨论劳动与机器、知识与资本之间的关系时，马克思发现自己被嵌入德国唯心论与英国政治经济学之间的一种混合辩证法之中。《大纲》与《资本论》中关于机器和劳动分工的章节所展开的相似论证，遵循四个运动，我现在将逐一转向它们：（1）经由劳动分工发明机器，（2）经由机器对知识的异化，（3）经由知识积累对资本的贬值，（4）总体工人（collective worker）的兴起。

## 经由劳动分工发明机器

谁是机器的发明者？是工人、工程师，还是工厂的主宰者（master）？是科学、机巧，还是劳动？作为皇家学会会员，巴贝奇

公开赞颂科学的天赋，但在理论上坚持机器是作为劳动分工的替代而出现的。如前所述，巴贝奇信奉一种机器的劳动理论，因为在他看来，一台新机器的设计总是模仿先前一种劳动分工的设计。在《哲学的贫困》（1847）中，马克思就已调动巴贝奇来反驳蒲鲁东——后者认为机器是劳动分工的对立面。马克思主张相反的观点：机器是作为劳动分工的综合而出现的：「当经由劳动分工，每一项特定操作都被简化为使用单一工具时，把所有这些工具连结起来、由单一发动机推动，便构成了——一台机器。」其后，在《大纲》中，马克思继续借助巴贝奇指出，技术并非由科学对自然的『分析』所创造，而是由对劳动的『分析』所创造：[30]

> 首先，是那直接源于科学的、对力学和化学规律的分析[Analyse]与应用，使机器能够执行先前由工人所执行的同样劳动。然而，机器沿这条道路的发展，只有在大工业已经达到一个更高阶段、所有科学都已被压入资本的服务之中时才会发生……于是发明变成一门生意，而将科学应用于直接生产本身，也成为一种决定并招引发明的前景。但这并不是机器大体上得以产生的道路，更不是它在细节上得以推进的道路。这条道路毋宁是解剖[Analyse]——经由劳动分工，它逐渐把工人的操作转变为越来越机械的操作，以至于在某一点上，一套机构便能取代他们的位置。[31]

马克思在方法论上也采纳了巴贝奇的理论，包括在《资本论》中——那里关于机器的一章紧接在关于劳动分工的一章之后。正如马克思的论证所突显的，机器的设计与劳动分工之间存在一种结构上的同构：「机器是这样一种机构：它一经开动，便用它的工具执行与工人先前用类似工具所做的同样操作。」在一个脚注中，他引用了巴贝奇对机器的综合定义（「把所有这些简单工具联合起来、由一个马达推动，便构成一台机器」），并给出自己的转述：[32]

> 作为工业革命起点的机器，用一套机构取代了操持单一工具的工人——这套机构以若干类似的工具运作，由单一动力推动，无论那动力采取何种形式。[33]

正是在《资本论》的这一处，马克思提出了又一条分析原理——它日后对二十世纪科学技术史的方法论产生了巨大影响。在挑战了「机器的起源在于科学而非劳动」这一信念之后，马克思颠倒了把蒸汽机视为工业革命首要催化剂的看法。相反，他主张：正是劳动分工及其工具与「工具机」的增长，「要求一种比人力更强大的动力」，而这种能量来源将在蒸汽中被找到。触发工业革命的并非蒸汽机（生产资

料）的发明（如生态话语中流行的理论那样），毋宁是资本与劳动（生产关系）的发展要求一种更强大的能量来源：[343536]

> 蒸汽机本身，无论是它在十七世纪末工场手工业时期被发明时的样子，还是它直到1780年一直保持的样子，都没有引起任何工业革命。恰恰相反，正是[工具]机[Werkzeugmaschinen]的发明，才使蒸汽机形式上的一场革命成为必要。[37]

工业工厂的「机械怪物」首先是被劳动召唤出来，然后才被蒸汽动力加速的，而非相反。马克思说得很清楚：技术的发生是一个由劳动分工所驱动的涌现过程。正是从集体劳动的物质性中，从有意识与无意识的协作形式中，扩展的机器装置才得以涌现。在这里，智能栖居于人类协作的分支繁衍之中，而非个体的脑力劳动之中。机器智能（machine intelligence）映现、体现并放大着集体劳动的分析性智能。[3839]

## 经由机器对知识的异化

「最蹩脚的建筑师从一开始就比最灵巧的蜜蜂高明的地方，在于他在用蜂蜡建造蜂房之前，就已经在自己头脑中把它建成了。」这是马克思在《资本论》中对劳动作为一种心智的、个体的活动的承认。然而，集体的劳动分工，即共同劳动，仍然是机器的政治发明者。技能与知识的异化过程，一旦机器出现在劳动面前并取代劳动的位置，便随即开始。工具从工人之手转到机器之手，同样的过程也发生在工人的知识身上：「随着工具，工人操持工具的技能也转移到了机器身上。」就此而言，机器不过是集体知识的一种结晶。马克思谴责这种对人类心智的异化，附和欧文（Owen）：[404142]

> 自从无灵魂的机构在英国制造业中普遍引入以来，人们除极少例外，都被当作一种次要而从属的机器；相比于身体与精神这类原材料的完善，人们给予木材与金属这类原材料之完善的关注要多得多。[43]

机器的引入标志着劳动史上一次戏剧性的辩证转折：工人由此不再是机器的主体，而成为资本的客体：「手工工具使工人独立——把他设定为所有者。机器——作为固定资本——把他设定为依附者，把他设定为被占有者。」维多利亚时代人与机器之间的这一权力转移，也

是一种新意象的开端，在其中机器获得了生命体的特征，而工人则获得了自动机的特征：[4445]

「取代工人而拥有技能与力量的，是机器；机器本身才是名家能手，它凭借那些透过它而起作用的机械规律而拥有自己的灵魂……工人的活动被贬低为活动的纯然抽象，处处受机器运动的规定与调节，而非相反。那门科学——它凭借机器无生命肢体的构造，强迫这些肢体像自动机一样合目的地行动——并不存在于工人的意识之中，而是作为一种异己的力量、作为机器自身的力量，透过机器作用于他。」[46]

关于知识从工人身上被异化的反思在《资本论》中继续，在那里马克思让知识榨取的过程达到顶点——科学作为一种生产性能动者与劳动的完全分离：

「独立的农民或手工业者所运用的知识、判断与意志——尽管程度有限，正如野蛮人把全部战争艺术都寄托于其个人机巧的施展——如今只有对整个工场才被需要。生产的智能指挥之可能性在一个方向上扩张，正因为它在许多其他方向上消失了。专门化工人所丧失的东西，集中到了与他们相对立的资本之中。工人与物质生产过程的智识潜能[geistige Potenzen]作为他人的财产、作为统治着他的力量而面对面相遇，这正是工场手工业中劳动分工的一个结果。这一分离过程始于简单协作——在其中资本家向个体工人代表着整个社会劳动体的统一与意志。它在工场手工业中得到发展——后者把工人肢解，使他变成他自身的一个碎片。它在大工业中得以完成——大工业使科学成为一种与劳动相区别的生产潜能，并把它压入资本的服务之中。」[47]

马克思用一个引向汤普森（Thompson）《论财富分配原理的探究》的脚注对《资本论》上述这段作了评注，此处有必要重述：

「有知识的人与生产性劳动者彼此日益分离，知识不再作为劳动者手中劳动的婢女以增进其生产能力……而是几乎在各处都摆开阵势与劳动相对抗。」「知识」变成「一种工具，能够从劳动中被剥离出来并与之相对立」。[48]

汤普森提供了一个关于知识劳动（knowledge labour）的定义，它早于二十世纪的知识社会与认知劳动理论家。如前一章所见，汤普森始终把「为其指导所必需的知识量」纳入劳动的定义，没有它，劳动「便不过是蛮力」。在一场典型的欧文主义论战中，汤普森描述机器如何羞辱工人的「一般智识能力」，工人被贬为「受操练的自动机」。据此，工厂是一种装置，用来使工人「对调节机器的秘密机簧一无所知，并压制其心智的一般能力」，以致「他们自身劳动的果实被上百种伎俩从他们手中夺走」。在不同的段落里，汤普森使用了「一般智力（general intellect）」「一般智识能力」「一般知识」和

「心智的一般能力」等表述，与马克思在《大纲》中所用的相同或相当的术语——如「一般社会劳动」「一般科学劳动」「人脑的一般生产力」「一般社会知识」和「社会智力」——形成直接的共鸣。重要的是，正如本章开篇题词所示，汤普森在一种主要为白人男性的一般智力（general intellect）之建构与性别及种族歧视问题之间划出一条直接的联系。在汤普森看来，人们之所以有种族主义和沙文主义，是由于缺乏适当的知识与教育：[495051]

> 「也可以反过来问：为什么黑人的奴役、以及妇女的奴役，得以确立？因为在前一种情形中是白人、在后一种情形中是男人制定了法律：因为在这些问题上尚未获得知识，白人与男人便错误地设想压迫黑人与妇女符合他们的利益。」[52]

马克思本人也承认工业劳动的种种精神病理，以及尽可能使劳动力保持文盲状态的策略。他引用了亚当·斯密的导师、苏格兰哲学家亚当·弗格森（Adam Ferguson）——后者早在一个世纪前就已得出这一结论：

> 「无知是勤劳之母，一如它是迷信之母。反思与想象容易出错；但活动手足的习惯却不依赖于二者中的任何一个。因此，制造业在最少征询心智之处、在工场可以……被视为一台机器（其零件即是人）之处，最为兴旺。」[53]

这应当提醒我们：人工智能的公共神话一向站在资本一边运作，并伴随着一项助长人类愚蠢的隐秘议程，其中包括对种族主义与性别歧视意识形态的传播。

## 知识积累对资本的贬值

知识与科学的经济价值是什么？它们在资本主义积累中扮演什么角色？马克思在一个机械巧思、技术智能与大型基础设施（如铁路网与电报网络）蓬勃发展的时代探讨了这些问题。在论述一般智力（general intellect）的段落中，马克思以三种方式来考察知识：第一，作为"直接生产力"（unmittelbaren Produktivkraft）；第二，以"社会生产力"（gesellschaftlichen Produktivkräfte）的形式；第三，作为社会实践（gesellschaftlichen Praxis），它本身并非抽象知识：

> 自然界不建造机器，不建造机车、铁路、*电报*、*自动走锭精纺机*等等。这些都是人类工业的产物；是被转化为人对自然界的意志的器官、或人参与自然界的活动的器官的自然物质。它们是人脑的器官，是由人手创造出来的；是对象化的知识力量。固定资本的发展表明，一般社会*知识*在多大程度上已经变成直接的生产力，从而社会生活过程本身的条件在多大程度上受到*一般智力*（general intellect）的控制并按照这种一般智力得到改造。它表明社会生产力在多大程度上不仅以知识的形式，而且作为社会实践的、现实生活过程的直接器官被生产出来。[54]

一般智力（general intellect）成为社会的变革性能动者，其方式明显呼应了汤普森（Thompson）对"知识分配"有助于实现"财富分配中的自愿平等"的乐观看法。《机器论片段》包含一个未解的张力：一方面是对象化于机器之中的知识（作为"固定资本的发展"），另一方面是由社会生产所表达的知识（作为"社会个体的发展"）。马克思既考虑了知识在生产过程中的首要地位，随后又考虑了实践相对于知识本身的首要地位。同样的论点也出现在《资本论》中，马克思在其中记录了工业劳动对工人神经系统造成的紧张。马克思将个人技能的经济价值与科学的经济价值相比较。二者之间不太可能有现实的竞争，因为经过漫长的"智力官能的分离"过程之后，工人的特殊技能在赋予机器以生命的科学、自然能量与社会劳动的巨大规模面前烟消云散：

> 生产过程的智力官能同体力劳动相分离，以及这些官能转化为资本支配劳动的权力，……最终由建立在机器基础上的大工业完成。每一个别机器操作工的特殊技能如今已被剥夺了一切意义，它作为一个无穷小的量，在体现于机器体系中的科学、巨大的自然力和社会劳动量面前消失了，而这三种力量连同它们一起构成了"主人"（master）的权力。[55]

在《片段》中，我们不仅看到把知识确认为体现在机器中的异己力量（正如汤普森所指出的），而且看到评估其价值增殖之量级的尝试（这在后者那里是缺失的）。在这里，马克思使用了一个评估知识积累的标准，它源自托马斯·霍奇斯金（Thomas Hodgskin）——上一章介绍过的一位李嘉图派社会主义者——的著作，马克思常常引用他的《通俗政治经济学》（Popular Political Economy，1827），也赞赏他的《为反对资本的要求而辩护的劳动》（Labour Defended against the Claims of Capital，1825）。霍奇斯金把对固定资本作为过去劳动、知识与科学之具体积累的正面强调，同流动资本的"虚构"相对置。在《大纲》中，马克思关于机器是"固定资本最恰当的形式"的论断，回响着霍奇斯金的思想：

> 知识和技能的积累，社会大脑之一般生产力的积累，就这样同劳动相对立而被吸收进资本之中，因而表现为资本的属性，更确切地说表现为固定资本的属性，只要它作为真正的生产资料进入生产过程。于是，机器表现为固定资本的最恰当的形式，而固定资本……则表现为资本本身的最恰当的形式。[56]

巴贝奇、汤普森和霍奇斯金等工业时代的作者，把培根的箴言"知识就是力量"加以现代化，主张知识无疑是一种生产的、经济的力量。需要重申的是，对霍奇斯金和汤普森而言，劳动首先是脑力劳动——也就是知识。"脑力劳动"是

> 观察和确定物质世界通过何种手段能给予我们最多财富的劳动……除非有脑力劳动，否则就不会有手上的灵巧技艺，也不会有发明机器的能力。因此它对生产而言是必不可少的。[57]

重要的是，对霍奇斯金而言，既不存在智力等级，也不存在手与脑的分工，更不存在需要被抬举的劳动贵族（labour aristocracy）："几乎每个人都同时从事脑力劳动和体力劳动。"事实上，马克思在《资本论》中引用霍奇斯金，以强调技能是一种在工人之间共享、并从一代传到下一代的公共资源。在这里，知识是一种集体地生产并共享的力量，这种力量（连同机器与基础设施）构成了固定资本的核心，而这一核心必须被工人重新占有（以反对流动资本的"虚构"）。[58][59][60]

《大纲》中最富远见的段落谈到，资本主义的危机源于劳动之中心地位的危机，从而也是劳动价值论的危机——也就是说，源于这样一个事实：与一般科学劳动、自然科学的技术应用……以及从社会结合（Gliederung）中产生的一般生产力相比，"直接劳动及其数量作为生产的决定性原则消失了"。马克思进一步说道：[61]

> 资本本身就是运动着的矛盾，[因为]它一方面竭力把劳动时间压缩到最低限度，另一方面又把劳动时间设定为财富的唯一尺度和源泉……于是，它一方面唤起科学和自然界的一切力量，同样唤起社会结合和社会交往的一切力量，以便使财富的创造（相对地）不依赖于耗费在其上的劳动时间。另一方面，它又想用劳动时间去衡量这样创造出来的巨大社会力量，并把这些力量限制在为了把已经创造出来的价值作为价值来保存所需要的界限之内。生产力和社会关系——二者是社会个体发展的不同侧面——对资本来说只表现为手段，而且只是资本在其有限的基础上进行生产的手段。然而，事实上它们是炸毁这个基础的物质条件。[62]

在马克思的体系中看似是矛盾的东西（劳动之政治中心地位的抹除），事实上正是这种中心地位的后果。世界各地的工人们已经劳动

得够多了！他们生产得如此之多、如此之久，以至于他们过去积累的劳动（以机器、基础设施与集体知识的形式）影响了利润率并拖慢了经济。这就是霍奇斯金《为反对资本而辩护的劳动》中提出的、把劳动的生产性与资本的非生产性相对立的论点。而马克思本人则试图证明，固定资本（作为机器、基础设施、集体知识与科学）的积累，可能对流动资本一侧产生深远的副作用（除了引发生产过剩危机的可能之外）。因此，在《大纲》中，正如汤普森和霍奇斯金所设想的那样，他探讨了这样一个假说：集体知识与技术知识的增长可能削弱资本的统治。最终，在《资本论》中，《大纲》的乌托邦式热情被对相对剩余价值的现实主义计算所重新吸收，而这种计算被采纳为机器的度量衡，同时也是知识价值的隐含度量衡。

## 总体工人（collective worker）的崛起

在《资本论》中，马克思通过把一个扩展的社会行动者——总体工人（collective worker，Gesamtarbeiter）——置于工业剧场的中心，来回应机器问题，而在资产阶级看来，处于中心的则是一个手持蒸汽机的工程师。总体工人（collective worker）这一形象既取代了对发明者的个人崇拜（个体脑力劳动），也取代了一般智力（general intellect）的观念（集体脑力劳动）。马克思借助巴贝奇的机器的劳动理论——它把机器解释为劳动分工的体现——断言总体工人才是技术的真正政治发明者。于是，《大纲》中价值的知识理论（knowledge theory of value）那含糊的假说最终被奠定在经验的基础之上：智能在逻辑上被物质化于劳动分工的种种分支之中。总体工人（collective worker）是一般智力（general intellect）的人格化，确切地说，是其机械化的人格化。

马克思在《大纲》和《资本论》中都紧密沿用巴贝奇的机器的劳动理论，但只有在后者中，他才运用了巴贝奇的剩余劳动调控原理，这一原理帮助他勾勒出相对剩余价值的概念，并衡量劳动与机器的生产率。马克思所引用的巴贝奇原理（Babbage principle）如下：

> 制造业主（master manufacturer）通过把要完成的工作划分为不同的工序，每道工序各需不同程度的技能或体力，就能够为每道工序精确地购买所必需的技能与体力的

恰当数量；反之，如果全部工作由一个工人来完成，那么这个人就必须既具备足以完成最困难工序的技能，又具备足以执行该行业所分成的各工序中最费力者的体力。[63]

马克思颠倒了对"制造业主（master manufacturer）"的神秘化，把总体工人（collective worker）恢复到巴贝奇原理（Babbage principle）的中心，不用说，总体工人如今成了劳动分工的主要行动者。总体工人（collective worker）获得了一种超级有机体的特征：

> 由若干个别专门工人组合而成的总体工人（collective worker），是工场手工业时期特有的机器部件……在一道工序中他必须使出更多的力气，在另一道工序中使出更多的技巧，在又一道工序中付出更多的注意力；而同一个人并不能在同等程度上兼具这一切品质……在各道工序被分离、独立并孤立开来之后，工人们便按其占主导地位的品质被划分、分类和编组……总体工人如今在同等优异的程度上具备了生产所必需的一切品质，并以最经济的方式使用这些品质，即专门地使用他的一切器官——这些器官已个体化为特定的工人或工人群——去执行各自的特殊职能。[64]

在马克思的语言中，总体工人（collective worker）成了一个"机器部件"、一个"社会机构"、一个"集体劳动的有机体"。生动的机器隐喻伴随着一般智力（general intellect）转世为总体工人。赛博格（cyborg）的史前史可以在《资本论》的字里行间读出：[65]

> 由众多个别专门工人构成的社会生产机构，属于资本家……不仅专门工作被分配给不同的个人，而且个人本身也被分割开来，转化为某道局部工序的自动化的动力机。[66]

《机器论片段》不仅强调了知识与科学日益增长的经济作用，也强调了社会协作的作用——也就是说，超出工厂制度之外的社会关系之一般机制日益增长的作用。以一种类似于在工厂内部建构总体工人（Gesamtarbeiter）的运动方式，马克思在《大纲》中把"社会个体……作为生产和财富的伟大基石"置于未来社会之中：

> [工人]走到生产过程的一旁，而不再是它的主要行动者。在这一转变中，既不是他本人所从事的直接人类劳动，也不是他劳动的时间，而是对他自己一般生产力的占有，是他凭借自己作为社会体的存在而对自然界的理解和支配——一言以蔽之，是社会个体的发展，表现为生产和财富的伟大基石。[67]

看来，随着一般智力（general intellect）向总体工人（collective worker）的转化，马克思也放弃了那种认为资本主义会因作为固定资本的知识之生产过剩而内爆的理论。资本主义不再会因知识的积累而

崩溃，因为知识本身帮助新的机器装置改进了剩余价值的榨取。马克思主义学者迈克尔·海因里希（Michael Heinrich）指出，在《资本论》中，"在处理相对剩余价值的生产时，我们可以发现对《机器论片段》的一种隐含批判"。在这里，马克思似乎运用巴贝奇的剩余劳动调控原理来设计一种相对剩余价值理论，这种理论承认资本主义有能力使剥削保持在均衡之中。按照马克思的看法，剩余价值不仅可以通过降低工资和材料成本来增加，也可以通过总体上提高劳动生产率来增加——也就是说，通过重新设计劳动分工与机器。如果按照巴贝奇原理（Babbage principle），劳动分工是一种调节技能等级、从而按技能调节不同工资等级的装置，那么劳动分工便成了对相对剩余价值的一种调节。机器本身既是劳动分工的体现，于是也成了规训劳动并调控相对剩余价值榨取的装置。正如巴贝奇的构想那样，机器成为一台计算引擎——在这里，是一件测量剩余价值的工具。[68][69]

## 机器是一种社会关系，而非一个物

在二十世纪，哈里·布雷弗曼（Harry Braverman）也许是第一个重新发现巴贝奇在计算方面的开创性实验及其对马克思劳动分工理论之影响的马克思主义者。尽管马克思读过汤普森、霍奇斯金和巴贝奇，他却从未使用脑力劳动这一概念，这或许是为了避免支持一个由熟练工匠构成的、与工人阶级相分离的劳动贵族（labour aristocracy）作为政治主体。对马克思而言，劳动始终是集体的：不存在比其他劳动更显赫的个体劳动，因此脑力劳动始终是一般性的；心智按定义就是社会性的。马克思并不像汤普森和霍奇斯金那样主张一种赋予意识活动首要地位的劳动的知识理论，而是坚持一种知识的劳动理论，后者承认那些社会性的、分布式的、自发的、无意识的劳动形式所具有的认知意义。智能从工人简单动作与微决策的抽象组装中涌现，甚至尤其是从那些无意识的动作与微决策中涌现。在一般智力（general intellect）研究与技术史中，这些是集体智能与无意识协作的中间世界，也是"机械化知识"与"用心的机械技艺（mindful mechanics）"的中间世界。最终，正是巴贝奇为马克思提供了一个可操作的范式，用

以克服黑格尔的 Geist（幽灵/精神），并把知识、科学与一般智力嵌入生产之中。[707172]

正如已经强调的，在马克思主义中，体力劳动与脑力劳动之间的区分消失了，因为从资本的抽象视角看，一切雇佣劳动无差别地生产剩余价值；一切劳动都是抽象劳动。然而，那调控着劳动价值论的资本之抽象之眼，运用一件特定的工具来测量劳动：时钟。这样一来，看似普遍的规律却不得不与一项极其平凡的技术之度量衡打交道；毕竟，时钟并非普遍之物。机器能够强加一种时间之外的劳动度量衡，正如最近在社会数据分析中所发生的那样。新工具既定义了科学的新领域，同样地，在被劳动本身发明出来之后，它们也定义了劳动的新领域。任何一台新机器都是空间、时间与社会关系的一种新配置，并且投射出这些图示的新度量衡。在维多利亚时代，脑力劳动的计量学仅以萌芽状态存在。知识的初步计量经济学直到二十世纪才随着第一个信息理论而开始出现。本章的论点是：马克思的劳动价值论并未解决知识与智能诸领域的度量衡问题，这一问题必须在机器设计的构造中以及在巴贝奇原理（Babbage principle）中加以探究。[737475]

沿着布雷弗曼和沙弗（Schaffer）的思路，可以补充说，巴贝奇提供的不仅是一种机器的劳动理论，而且是一种机器智能（machine intelligence）的劳动理论。的确，巴贝奇的计算引擎（其时代的"智能机器"）乃是对工厂主宰者之眼（eye of the master）的分析性之眼的一种实现。作为杰里米·边沁（Jeremy Bentham）全景敞视监狱的表亲，它们同时是监视劳动与测量劳动的工具。正是这一思想，我们应当加以考量并应用到人工智能及其政治批判的时代——尽管要将其极性反转过来——以便宣告：计算基础设施乃是共同劳动的凝结物。[7677]

# 5

# > 控制论以全局而有机的方式，重新组合被粉碎为一个个个体微观决策的总体工人的职能：“比特”把原子化的工人与“计划”的“数字”联结起来。

> 罗马诺·阿尔夸蒂（Romano Alquati），1963 年 1

## 能量与信息的分岔[1]

法国哲学家吉尔贝·西蒙东（Gilbert Simondon）曾以不同寻常的洞察力挑战人们对工业时代的通常理解。他写道：“当信息之源与能量之源相分离时，也就是说，当人仅仅是信息之源、而自然被要求提供能量时，工业形态便出现了。机器与工具的不同之处在于它是一个中继器：它有两个不同的入口，一个是能量的入口，一个是信息的入口。”2 毕竟，现代信息概念的出现通常与报刊、电报、广播、电视等大众媒介联系在一起——而绝不会与一台工业机器联系在一起。然而，西蒙东提议把工业机器本身就看作一种信息—机械中继器，因为它第一次

把劳动分离为能量（由水和煤等自然资源提供）与信息（监督和控制机器的工人的有意识动作与指令）。按照西蒙东的理解，传统工具则是一种能量与信息尚未分离的设计：例如，使用锤子时，前工业时代的工匠仍在同一个动作中同时赋予形式与运动。正如第三章重访机器问题时所见，这种前现代的手与心智的统一，注定要被工业劳动分工系统性地瓦解。尽管人们常常重复说自动化取代劳动，但西蒙东阐明的却是：自动化实际上是移置劳动，并把劳动分岔为体力技能与脑力技能这两条相互对立的谱系与等级。

西蒙东写作于 1950 年代末经济繁荣时期的法国，他是在控制论等新技术的影响下解读工业时代的，而这些新技术同时也在为战后现代主义的期待推波助澜。3 信息在当时是一个新兴概念，它也影响到了劳动的定义。晚近以来，鉴于当前对气候变化与环境退化的关切，瑞典学者安德烈亚斯·马尔姆（Andreas Malm）从另一个角度——能量的经济——来构架工业时代。[2]

马尔姆的论证不难理解：工业生产方式的兴起是由一种稳定而多用途的能量形式所推动的，在水力使用之后，人们在煤炭中找到了这种能量。4 但在他看来，煤炭之所以助推了工业资本主义的加速，不仅是因为它的能量潜力，而且是因为它的轻便、同质、可计量等物理属性与资本新的抽象维度完美契合。蒸汽机之所以取代水磨，并非因为煤炭比水更便宜、更充裕，而是因为煤炭提供了比降雨更稳定的动力流，并使工厂得以迁往城市地区附近——当时工人阶级正居住在那里。马尔姆由此记录了化石资本主义从制造业时代缓慢浮现的能量学理据。蒸汽机取代水磨大约花了四十年：如果说煤炭最终被用于生产的全部领域，那是因为它是最合适的抽象能量（abstract energy）来源——这里的“抽象”意指在成本、运输、储存、性能与社会组织方面易于计算。[3]

此外，煤炭之所以能变成工业资本主义的一个关键组成部分，也有赖于蒸汽机；但这恰恰是因为这项技术创新能够把煤炭的能量潜力转化为稳定而连续的运动，正如马尔姆所指出的：[4]

> 要让煤炭普遍化为各类商品生产的燃料，就必须把它转化为机械能之源——更确切地说，转化为旋转运动之源。只有把煤炭的燃烧与轮子的转动耦合起来，化石燃料才能点燃增长的总体进程：各类商品的生产——以及运输——的扩大。正因如此，詹姆斯·瓦特的蒸汽机被广泛认定为迈向一个更温暖世界的致命突破。5

然而，蒸汽机的兴起与煤炭的采用本身并不是工业发展的自主驱动力：它们是在回应更深层的经济动态，比如一种新的劳动剥削体制。资本主义带来了对一种更精简——也就是更抽象——的劳动力组织系统的需求。这包括利用时钟来精确计量劳动时间，并对劳动空间实施精确的划分，而所有这些都是在工厂主宰者之眼的监督下才成为可能的。煤炭在能量上的多用途性与蒸汽机在机械上的精确性，帮助巩固了工业资本主义新的时空抽象。[5]

若把马尔姆的分析扩展开来以纳入西蒙东的洞见，我们还可以补充一点：信息的抽象属性是与这些时空抽象以及化石能源的新特性一同出现的——化石能源的同质碳链使煤炭比水力、畜力等传统能源更易于量化和计算。那么，在工业机器的齿轮之中应当辨认出的，是抽象能量（abstract energy）（即标准化的运动）与抽象形式（abstract form）（即信息）既相分岔又同时相耦合的过程，二者都被理解为可量化的操作与生产资料。6

如果说人类劳动被分离为抽象能量（abstract energy）与诸种抽象形式（abstract form），这也有赖于两项新的控制技术：像詹姆斯·瓦特的蒸汽调速器（steam governor，1788 年）这样的反馈装置，以及像雅卡尔织机的打孔卡（punched card，1801 年）这样的控制器。7 蒸汽调速器是一种通过实时调节燃料输入来维持发动机恒定输出的装置。打孔卡则是一种存储纺织图案指令的数据装置。更确切地说，瓦特的调速器把发动机的脉冲转化为抽象运动——即恒定的旋转运动——而雅卡尔的打孔卡（punched card）把手工指令转化为信息——即可计算的知识。回溯地看，这两种装置可以被视为最早的控制论装置。瓦特的调速器是精确信息反馈系统的第一个实例，而雅卡尔织机的打孔卡（punched card）后来被 IBM 采纳为标准存储格式，在整个二十世纪几乎未曾改变。[6]

关于抽象劳动之争论的一个说明[7]

正是黑格尔把劳动看作一种塑造机器与主体性的抽象，并在其1805–6 年的耶拿讲座中第一次界定了“抽象劳动”，他所诠释的很可能是亚当·斯密关于劳动分工与机器发明的段落：

> 人的劳动本身变得完全机械化，隶属于一种多方面的规定性。但是，[他的劳动]变得越抽象，他自身就越只是单纯的抽象活动。因而，他便有可能把自己从劳动中抽身出来，以外部自然的活动取代他自己的活动。他需要的仅仅是运动，而这在外部自然中就能找到。换言之，纯粹的运动恰恰就是空间与时间这些抽象形式的关系——即那种抽象的外部活动，机器。8

> 后来，在《法哲学原理》（1820）中，黑格尔继续以类似的方式界定抽象劳动：“生产的抽象化使劳动越来越机械化，以至于人最终能够抽身让位，让一台机器取代自己的位置。”9 马克思随后强势挪用了黑格尔的诠释，并宣告：值得关注的社会抽象不仅是劳动分工，而且还有雇佣劳动，也就是资本对劳动的统治。资本主义确实把人类劳动变成了一种抽象，但这种抽象就是商品形式。在工业资本主义之下，劳动以抽象的时间单位被量化，被变成通行于整个社会的一般等价物，并像任何其他商品一样被交易——事实上，劳动正是一切商品的实体本身。10 马克思首先把劳动的抽象看作资本的一种功能，看作一种雇佣关系。[8]

然而，在工业时代，抽象化的过程以不同的方式作用于空间、时间、能量、劳动与知识，因此这种抽象的力量不能被仅仅视为技术资本主义的表达。事实上，人人都对抽象提出权利主张。但归根结底，抽象的力量究竟属于谁？是谁、或者是什么，拥有塑造历史之社会抽象的政治能动性？[910]

信息劳动

历史学家 James Beniger 论证说，信息技术之所以在十九世纪末至二十世纪中叶之间兴起，是由于西方国家的经济繁荣，以及治理工业生产与分配的需要。换言之，正是经济加速促成了模拟媒介向数值信息的转化。控制论与信息论这两个范式的发生，回应的是西方资本主义的一场“控制危机”（crisis of control）——它必须管理商品过剩以及新的大型分配基础设施。Beniger 没有沿用人们惯常的称呼“信息革命”（information revolution），而是把这一进程命名为带有矛

盾修辞意味的“控制革命”（control revolution）——这个说法用来描述控制论追求政治均衡的历史冲动，也同样贴切。为了治理一个不断增长的经济，就必须引入一个更为抽象的信息定义，即可测量、可计算、可传输的知识。

这一历史进程可以再一次不仅从商品流通的角度、而且从劳动组织的角度来加以框定。恕与 Beniger 相左，关于后工业时代的马克思主义论述所强调的，是劳动冲突与社会斗争、而非经济过剩在推动技术发展中的作用。它们同样质疑信息这一技术概念的政治中立性——例如，意大利社会学家 Romano Alquati 在1960年代初对 Olivetti 计算机工厂劳动状况的调查中所做的正是这件事。[11]

Olivetti 是一家先驱性企业，自1950年代起以生产打字机、电子计算器和大型计算机而闻名。例如，1959年 Olivetti 推出了 Elea 9003，这是第一台基于晶体管的商用计算机，其充满未来感的图形用户界面由 Ettore Sottsass 设计。正是在 Olivetti 位于 Ivrea 的工厂，Alquati 第一次把工人调查（workers' inquiry，或称 conricerca）的方法应用于控制论条件下的劳动组织。工人调查是一种参与式行动研究，只是更具战斗性；它以工人的积极参与为基础，并广泛使用个人访谈与集体访谈。[12]

Alquati 由此发现，Olivetti 工厂的控制论装置首先是其内部科层制的一种延伸：它借助“控制信息”（control information）监视流水线上的工人乃至整个生产过程。正是经由控制论的回路，科层制终于得以下沉到工人的身体之中，就近察看他们的活动。尽管 Alquati 把控制论视为科层制的延伸，他却反转了“控制信息”（control information）这一观念中隐含的自上而下的视角。在“控制信息”（control information）之外，他又铸造了“增殖信息”（valorising information）一词，用来描述由工人生成的信息流：这股信息流逆流而上，喂养着工厂的回路，并赋予最终产品以形式。在这个视野中，信息由工人持续生产出来，被机器吸收，最终凝结为商品：

> 信息对劳动力而言是本质性的：它就是工人——借助不变资本——在评估、测量与加工判断的基础上传递给生产资料的东西，为的

是在劳动对象上实施其形式的所有那些改变，从而赋予它所要求的使用价值。 13

随着 Alquati，数值信息或许第一次进入了劳动的定义。Alquati 注意到，劳动最重要的部分，是由工人在机器面前、在流水线上必须不断作出的一系列创造性行为、测量与决定构成的。他恰恰把工人沿着生产过程作出的所有那些创新性的“微观决策”（micro-decisions）称为信息：它们赋予产品以形式，同时也调节着机器装置本身：[13]

> 生产性劳动由工人经由不变资本的中介加工并传递给生产资料的信息之质量所界定，其方式在趋势上是间接的，却是完全社会化的。 14

按照 Alquati 的看法，恰恰是控制论的数值维度能够把工人的知识编码为数字比特，进而把数字比特转化为可供经济计划使用的数字（正如本章开篇题词所言）。 15[14]

Alquati 看到的是一个把科层制、管理、控制论机器与劳动分工融为一体的扩展结构：这是一个正在取代旧式工厂主宰者位置的新系统。控制论揭示了科层制的机器本性，反过来也揭示了机器的科层职能——也就是说，二者如何都作为反馈装置运作，以控制并捕获工人的技能诀窍（know-how）。Alquati 研究的发现可以总结如下：（1）劳动是工业控制论装置的信息来源，而且劳动中最有价值的部分正是信息；（2）信息操作着控制论装置，逐步改进其设计，并为最终产品增添价值；（3）控制论的数值维度使我们得以把劳动转译为知识、把知识转译为信息、把信息转译为数字，进而把数字转译为经济计划；（4）工厂的控制论装置之所以能够成长和改进，靠的是工人社会化智能的贡献。控制论工厂或自动化工厂第一次以清晰可辨的方式，使劳动向可测量的知识——即信息——的转化变得可见。[15]

1960年代初，Alquati 和意大利工人主义（operaismo）开始记录福特主义的转型及其在全社会范围内愈来愈“抽象”的劳动分工。政治哲学家 Mario Tronti 的社会工厂（social factory）意象也清楚地预示了这一点。1962年，Tronti 写道：“在资本主义发展的最高水平上……整个社会成为生产的一个环节，整个社会为工厂而运转，而工厂则把自己的排他性统治扩展到整个社会。” 16 信息技术正是把工业资本主义体制如神经般贯注到社会之中的物质基础设施。尽管意大利工人主义（operaismo）对科学技术始终只抱有次要的兴趣，Alquati 却在这

个问题上作出了关键贡献。他坚持认为，任何技术创新——包括控制论在内——总是体现着特定历史时刻的权力关系与阶级对抗，而正因如此，它才应当成为研究的焦点：

> 资本永远是积累起来的社会劳动，机器永远是被并入的社会劳动。这是显而易见的。每一台"新机器"、每一项创新，都表达着那个时刻阶级之间力量关系的总体水平与质量。 17[16]

说到底，不难看出，信息技术的兴起是过去一个世纪里规训劳动力的种种时空抽象之漫长演化的一部分。信息开始测量掌控生产过程和整个社会关系所需要的智能、知识与技艺。 18 说来也巧，这个含义与"信息"一词的起源相去不远：在信息论的早期，引入这个词正是为了取代"智能"（intelligence）。1928年，贝尔电话实验室的美国工程师 Ralph Hartley 提议，把当时电报业常用的说法——"智能"（intelligence，在电报业中兼有"情报、讯息"之义）的行为或"对信号的解读"——修订为一个不涉及任何人类官能的、本质上可测量的概念。 19 人类智能在通信技术中的这一原初角色，既可以被视为信息论关注脑力劳动的自动化与去技能化（deskilling）的进一步证据，也可以被看作对一条轨迹的确认——这条轨迹在一个漫长的技术周期之后，意味深长地展开为人工智能的规划。今天，AI 算法所编码、所测量的"智能"（intelligence）延伸到一个越来越广阔的社会场域，正如本书试图表明的那样。这种智能既属于体力劳动也属于脑力劳动，既属于明言知识也属于默会知识，但首先属于合作与自组织（self-organisation）的能力——那在本质上是一门政治技艺。越出机电工程的视界，信息最终所测量、所中介的，是工人与资本之间的对抗——是在社会秩序这两个嘈杂阵营之间往来交换的"信号"。[17]

6[18][19]

# PART II
# The Information Age

# 6

# 有人曾正当地强调，一部大脑模型的历史，其实是一部文学与物质技术的历史——这些技术为脑科学家所熟悉，继而被他们用作隐喻。他们的隐喻动物园里陈列着心智时钟、逻辑钢琴、手摇风琴般的机体、神经电报以及大脑计算机网络。特定的技术是如何进入这座动物园的？关于某些系统能够模仿乃至展现智能的种种主张，是由脑与手（head and hand）的社会等级所支撑的。心智之所以被认识，正是因为这些社会约定俗成已被认识。

——Simon Schaffer，《OK Computer》，2001

我们这个时代的奇迹——电报术——早已在动物机器中被塑造出来。但这两套装置，即神经系统与电报之间的相似性，有着更为深刻的根基。它不仅仅是相似；它是二者之间的一种亲缘关系，一种不只是效果上的、或许也是原因上的一致。[1]

——Emil Du Bois-Reymond，《论动物运动》（On Animal Motion），1851

神经系统……已被外化，作为内在世界与外在世界之颠倒的一部分。高速公路、办公楼、面孔与街道标志被感知为仿佛是一套发生故障的中枢神经系统中的元素。[2]

——J. G. Ballard，《暴行展览》（The Atrocity Exhibition），1990

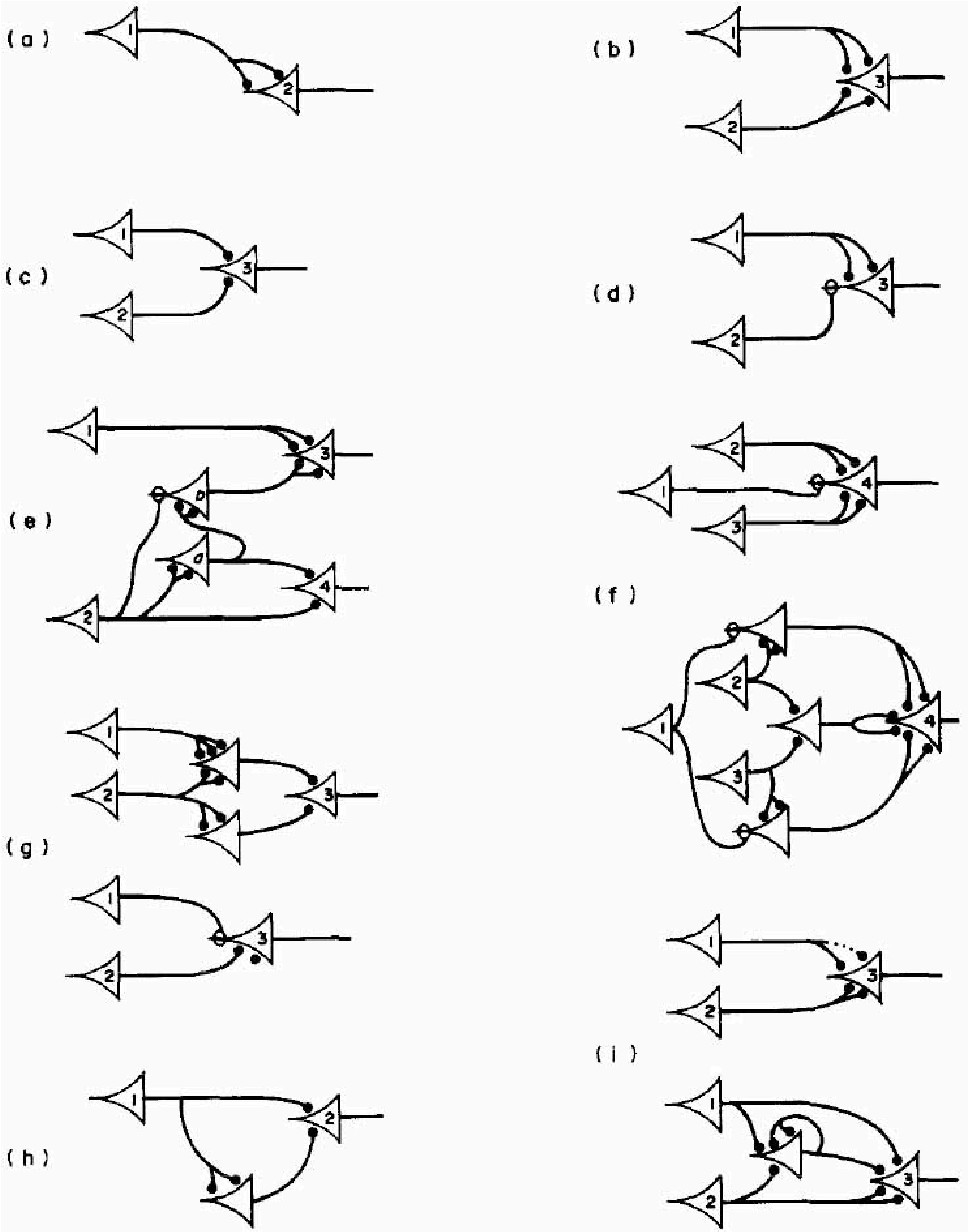
神经系统的一部社会史[3]

2012年，AlexNet 算法——一个大型人工神经网络——赢得了 ImageNet 竞赛，该竞赛是图像识别软件的国际基准。自那以后，"深度"人工神经网络，也被称为"深度学习"，引领了机器学习革命，并被视为人工智能最有效的技术。它们的成功也重新激起了这样一种期待：人工智能的"解答"或许能在大脑结构的秘密逻辑中找到——这一想法可追溯到数字计算机的早期。神经生理学家 Warren McCulloch 与数学家 Walter Pitts 是最早提出在装置中模仿生物神经元的人。在1943年的论文《神经活动中内在观念的逻辑演算》（'A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity'）中，他们把人工神经网络呈现为对大脑生理机能的模仿，但他们的想法同时也掩盖了一条外在的"社会"谱系，而本章正打算重新发现并发掘这条谱系。本章不打算把人工神经网络当作一种仿生物制品（即模仿生命形态的制品），而是提议从一个不同而不寻常的视角来照亮它们——也就是说，把它们视为信息之自组织（self-organisation）的一种技术。这一假说使它们的发明与本书第一部分所阐述的自动化的劳动理论相一致。正如工业机器的设计源自对劳动组织的模仿，同样地，人工神经网络（以及一般而言的机器学习算法）也可被视为这样一类机器：它们自组织地调配自身的参数——即其内部设计——以模仿外部世界的组织。科学史家 Andrew Pickering 曾把它们定义为生命的"本体论剧场"，但相反，自组织（self-organisation）的控制论实验本质上是一座社会的实验室。

1943年，McCulloch 与 Pitts 以他们自己的方式解读实验室的发现，提议把人脑形式化为一张执行逻辑运算的"神经网"（见图6.1）。他们构想出一个由计算节点构成的网络，它能够通过把人类逻辑还原为布尔逻辑及其 AND、OR、NOT 运算符来模仿人类推理。大脑解剖结构、逻辑推断与计算装置之间的类比，建立在这样一个观察之上：生物神经元表现出一种"全或无"的、即二元的行为。如果一个神经元从其兴奋性与抑制性突触所接收的脉冲总和超过某一给定阈限，该神经元便向下一个神经元的突触发射一个信号；否则，它保持静息。这一想法的新颖之处并不在于网络形式本身，而在于阈限逻辑——在这样一种结构中，正是阈限逻辑扮演了布尔运算符以及推断性推理逐步递进步骤的角色。通过调整其节点的行为，据说这些机器像大脑一样在"学习"——也就是说，通过其自组织（self-organisation）来记录复杂的信息。[456]

图6.1。人工神经元示意图。Warren McCulloch 与 Walter Pitts，《神经活动中内在观念的逻辑演算》，《数学生物物理学通报》（Bulletin of Mathematical Biophysics）5卷第4期（1943年）：105。

fig. 6.1[7]




几年前，即1938年，美国数学家兼密码学家 Claude Shannon 已经证明，电子开关电路能够执行布尔逻辑运算。他设计了 AND、OR、NOT 逻辑门，这些逻辑门很快被纳入所有晶体管与微芯片，从而奠定了计算机时代的基础。神经网络之所以成为人工智能的一个关键构想，

与其从大脑生理机能出发，不如通过考察 Shannon 的逻辑门来理解。本质上，McCulloch 与 Pitts 主张，大脑的神经回路执行的运算与 Shannon 的电路相同。尽管机器学习的教科书反复宣称 McCulloch 与 Pitts 关于人工神经元的构想是受大脑中神经元的结构与行为启发，但事实恰恰相反：他们首先是把生物神经元看作技术制品。McCulloch 与 Pitts 暗中把大脑生理机能设想为与那个时代的通信技术同源，而这种通信技术由机电继电器、反馈机制、电视扫描器，尤其是电报网络所构成。在1948年关于大脑机制的希克森（Hixon）研讨会上（下一章将更详细讨论），McCulloch 敦促同僚"把神经元设想为电报中继"。

在一位科学与技术史家看来，McCulloch 与 Pitts 的人工神经网络并非一个完全原创的想法，而是对一个旧想法的精细阐发。譬如 Laura Otis 就已表明，神经系统与电子网络之间的类比在十九世纪就已确立，并被诸如电报发明者 Samuel Morse 与物理学家 Hermann von Helmholtz 等人所援用。作为这种思想氛围的佐证，在本章开头所引的1851年一场关于动物运动的讲演中，柏林生理学家 Emil Du Bois-Reymond 以一种更接近科幻而非科学的富有远见的热忱，阐述了神经系统与电报网络之间的相似性。[89]

通信基础设施的印记不止延伸至十九世纪的"神经电报"类比：它也可见于二十世纪控制论的自组织（self-organisation）方案之中，而这些方案在人工神经网络的演化中始终至关重要。的确，能够适应环境并以持久方式"学习"的自组织（self-organising）计算这一构想，是控制论"认识论组合"的关键部分，它为机器学习铺平了道路。由于符号主义人工智能（symbolic AI）在学界的霸权，以及技术被广泛拟人化，人们很难把当代人工智能想象为一种信息自组织（self-organising）的技术，或想象为从数据中涌现的"自发秩序"。然而，这恰恰是对机器学习实际所为的一种真实描述。二十世纪与二十一世纪人工智能的自组织（self-organising）计算之间的联系，被一层复杂的技术进步地层所掩盖，我们在其中失去了对其起源与发展的视线。本章要对这一地层进行一次"发掘"——发掘机器学习的一段史前史，在这段史前史中，社会网络、通信网络与计算网络全都是自组织（self-organisation）之连续（且毗邻）运动的一部分。[10]

使自组织（self-organisation）机械化[11]

在二十世纪下半叶，自组织（self-organisation）成为横跨众多学科的热门话题，涵盖生物学、混沌理论、神经科学、热力

学，甚至新自由主义经济学（如果考虑到人们对市场"自发秩序"的那种独特兴趣）。我们该如何解读这样一场对自组织（self-organisation）诸原理的广泛追寻？初看之下，这像是一场纷繁多样、寻找生命之本体论原理的运动；然而，这种对"生命"原理的追寻，似乎映照出同样可在战后时期社会变迁中察觉到的那些"自组织诸原理"。

最初，是现代政治哲学（在斯宾诺莎与康德那里）把自组织（self-organisation）与自主视为理论化社会契约与个人自由的关键概念。但是，出于某种缘故，在二十世纪中叶，自组织（self-organisation）原理从社会本体论迁移出来，转变为生机论哲学的一种社会之外的理想（其最高体现是 James Lovelock 的盖亚假说，该假说把地球视为一个超级有机体）。1977年，Ilya Prigogine 因其对远离平衡态的热力学系统中自组织（self-organising）结构的研究而获得诺贝尔奖。同一年，Langdon Winner 的著作《自主的技术》（Autonomous Technology）标志着自组织（self-organisation）话语的又一次变异：如今被重新感知为"自主"并危险地失控的，不再是自然，而是技术，从而复活了工业时代某些弗兰肯斯坦式的叙事。正如这些例子所示，自组织（self-organisation）这一概念在不同世纪与学科间积累了一层厚厚的意识形态包浆。当代的自组织（self-organisation）观念究竟是在何时、又如何确立的？

奇怪的是，正如生物学哲学家 Evelyn Fox Keller 所指出的，在二十世纪重新启动关于自组织（self-organisation）的科学争论的，竟是控制论——它是机电工程的一个分支，而非一门自然科学。在1940年代，控制论接过了建造"思维机器"这一现代梦想，尽管它采用的技术与上一个世纪不同。在工业时代，Babbage 曾设想通过一台实现手工计算的"引擎"来使脑力劳动自动化。彼时人类推理被编码为一套逻辑程序，编码为一列逐步进行的线性操作序列（Alan Turing 后来把它与电报纸带相联系，以构想那台以他命名的机器）。控制论者探索了建造"智能自动机"的其他途径。他们的目标不是模仿人类推理的规则，而是模仿有机体自我组织并适应环境所依据的规则。重要的是，自组织（self-organisation）也被理解为自我复制与自我修复。这是康德在

其对"有机存在"的定义中所强调的一个关键方面，而它对控制论者仍是一条指导性原理。[121314]

控制论宣称在一切有机体中都找到了一种基本的行为"机制"——即作为与环境反馈及内部自我调节之媒介的信息。在其奠基文本之一中，Arturo Rosenblueth、Norbert Wiener 与 Julian Bigelow 主张："行为的宽泛类别在机器与生命有机体中是相同的。"尽管在狭窄类别上有所不同（有机体显然没有轮子，等等），该文仍设定：机器与有机体二者都是凭借塑造其目的与目的论的信息反馈而运作的。事实上，控制论的这一原理在本世纪初的生物学中已被 Jakob von Uexküll 所预示，他把有机体看作一个奋力适应其环境的信息处理系统。Uexküll 把动物神经系统（Innenwelt）与外部世界（Außenwelt，或 Umwelt）之间的交换定义为一个"功能环"（Funktionskreis）。应当记得，在 Wiener 的造词中，"控制论"（cybernetics，源自希腊语 kybernetes，即"舵手"）一词指的是一个技术的、社会的与生命的系统通过与环境交换信息来控制自身的能力。相当明显的是，Uexküll 与控制论者都从他们那个时代的通信系统——电报、电话与无线电网络——中，引出了生命体与其环境相互作用的一个类比。[1516]

尽管控制论者起初把信息视为模拟电磁信号的形式，但他们逐渐转向数字的、离散的、计算的"比特"。对控制论而言，能够模仿生命体自组织（self-organisation）诸原理的，不只是一般意义上的机器，还有数字计算机（即有限状态自动机）。英国精神病学家 Ross Ashby 是控制论中自组织（self-organisation）的主要理论家。他1947年的论文《自组织动态系统的诸原理》（'Principles of the Self-Organising Dynamic System'）致力于证明：自组织（self-organisation）不仅是生命体的特征，也可以是"严格确定的"机器（即计算机）的特征：[17]

人们广泛否认一台机器能够"自组织"（self-organizing），即它既能是确定的，又能经历内部组织的自发变化。这样的事情能否发生，其问题并非纯粹哲学趣味的，因为它是神经系统理论中的一个根本问题。有大量证据表明，这一系统既是（a）一个严格确定的物理化学系统，又（b）能够经历导致行为变化的"自诱发"内部重组。人们有时认为这两项要求是相互排斥的。本文的目的在于表明，一台机器可以同

时（a）在其行动上严格确定，又（b）仍然展现出一种自诱发的组织变化。[18][19][20]

Ashby 通过发明"内稳态机"（homeostat）把他的理论付诸实践（其名是向 Walter Bradford Cannon 于1926年所定义的生命系统的内稳态致敬）。然而，它由四个笨重的机电单元构成，其"自组织"（self-organisation）能力反倒是有意适应外部刺激的对立面。Grey Walter 讽刺地称它为 machina sopora（拉丁语中的"沉睡机器"），因为"它的目标是变得静息；只有在受到外部扰动时才改变状态"。在1960年一篇更晚的文章《自组织系统的诸原理》（'Principles of the Self-Organizing System'）中，Ashby 完全把自组织（self-organisation）纳入一种机械论范式，以摆脱关于生命涌现的形而上学："过去，生物学家往往倾向于把组织看作某种额外之物，某种添加到基本变量之上的东西；而以通信逻辑为基础的现代理论，则把组织视为一种限制或约束。"然而，他的结论方式却是一个极具启发性的例证，展现了自动化想要取代人类并实现隐形的那种典型欲望："我认为，未来我们会更少听到['组织'这个词]，尽管在计算机与类脑机制的世界里，它所对应的那些操作会变得日益重要。"[21]

像 Ashby 这样的控制论者追求自组织（self-organisation），并不仅仅是把它当作模仿生命结构的钥匙，而是特别把它当作模仿大脑结构的钥匙。因此，他们把神经网络的自组织（self-organisation）作为智能行为的关键来研究。这场争论的一个转折点出现在1949年，当时神经心理学家 Donald Hebb 出版了一部关键著作《行为的组织》（The Organisation of Behavior），他在其中声称已辨识出神经网络中一条基本的自组织（self-organisation）规则。Hebb 记录了一种奇特的现象：同时受到刺激的神经元也会强化它们之间的连接：[22][23]

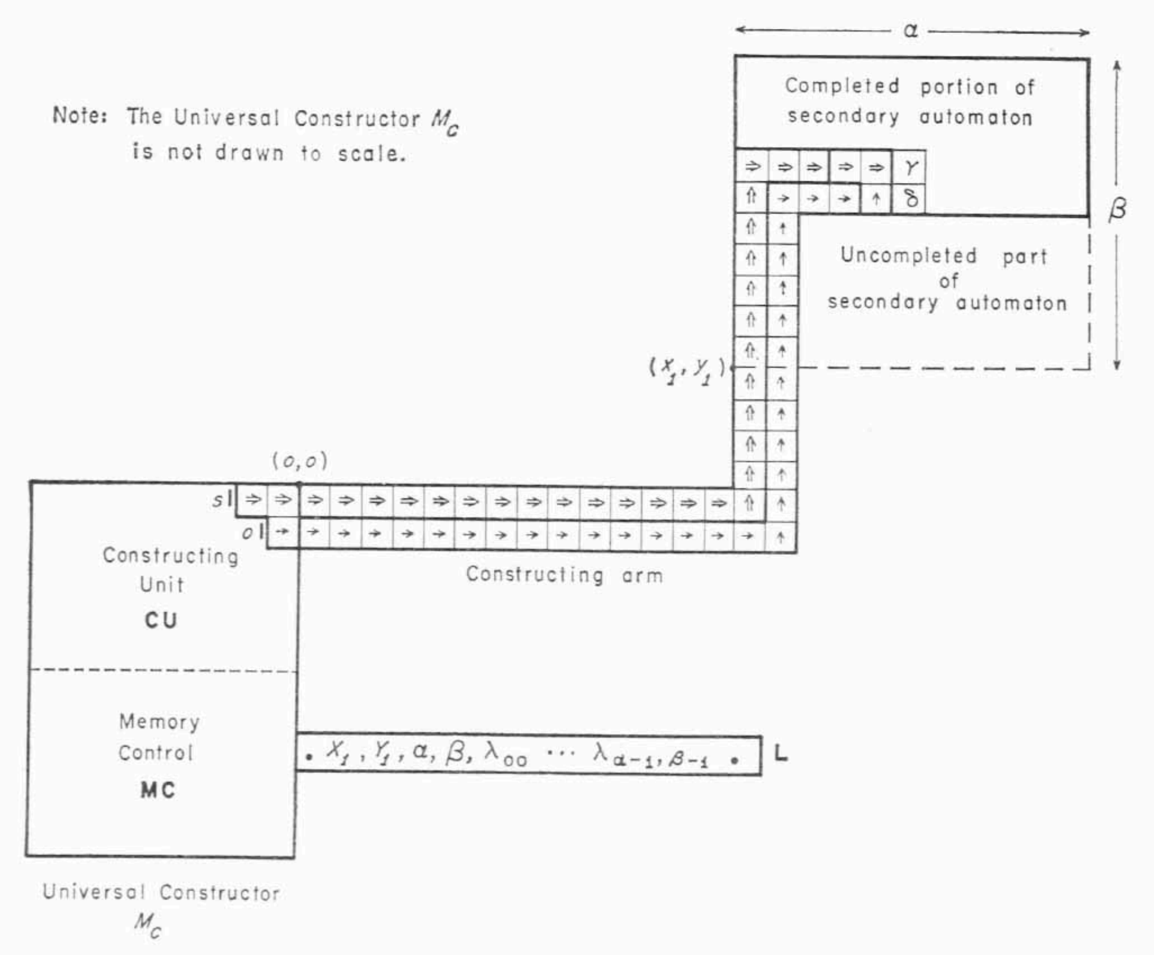
当一个细胞反复协助引发另一个细胞放电时，第一个细胞的轴突会长出与第二个细胞胞体相接触的突触小结（若这些小结已存在，则使其增大）……这个总的想法是一个古老的想法，即任何两个细胞或细胞系统，只要反复在同一时间活跃，就往往会变得"相互关联"，以致其中一个的活动会促进另一个的活动。[24]

自那以后，这种大脑行为被称为关于"细胞集群"（cell assemblies）的赫布理论，并由那句著名格言表达出来："一起放电的神经元，就连结在一起。"Hebb 的规则既可被视为神经可塑性的第一条被编码规则，也可被视为机器学习算法的第一条自组织（self-organisation）规则。认知科学家 Frank Rosenblatt 相应地把第一台可运作的人工神经网络——感知机（perceptron）——构想为一台自组织（self-organising）机器，并试图在其运作中实现赫布规则（见下文及第九章）。[25]

## 自组织（self-organisation）理论与早期数字计算机

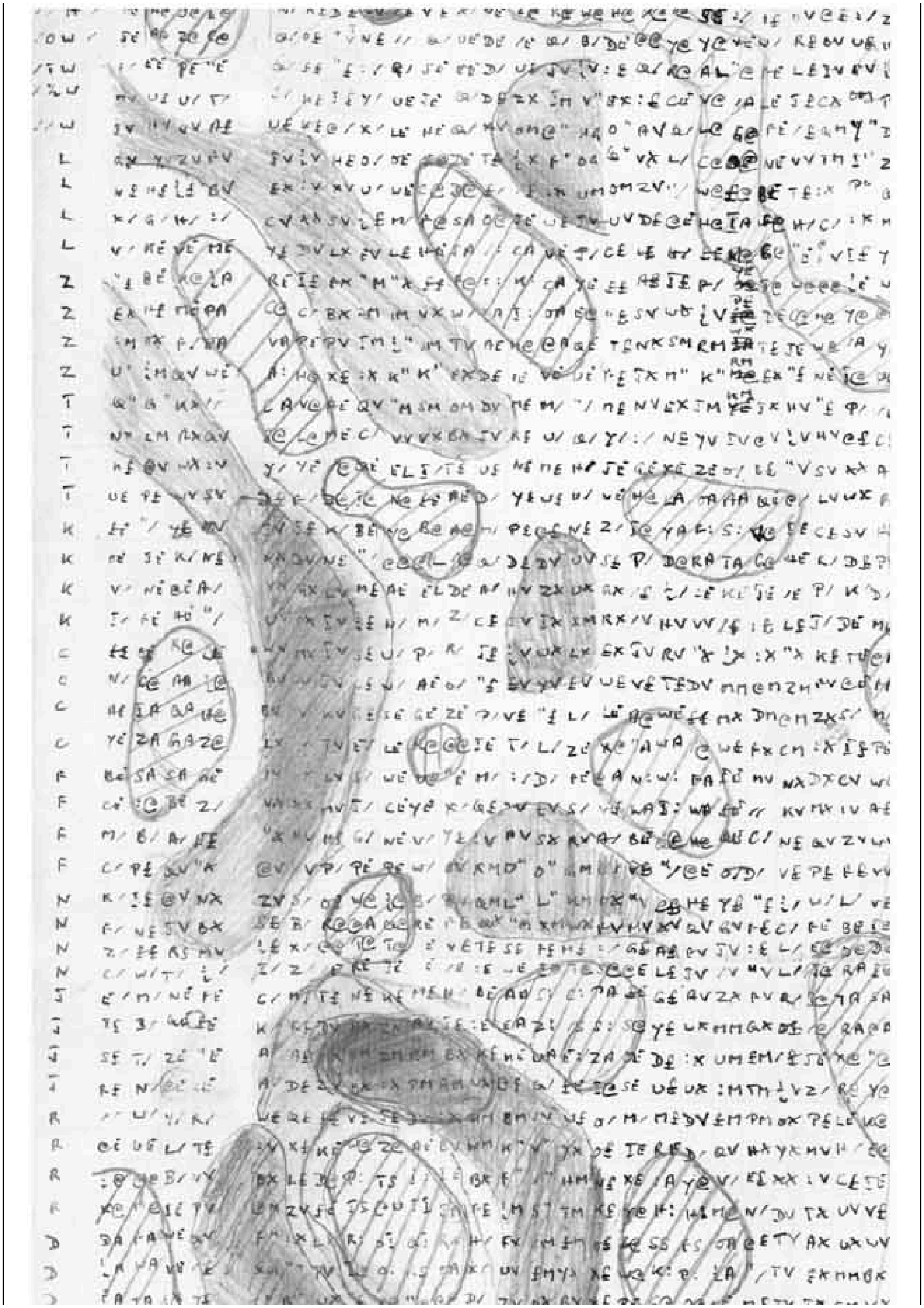
当时关于自组织（self-organisation）的研究领域比今天人们所感知的更为广阔：只需记得，数字计算机的所有关键先驱——如约翰·冯·诺依曼（John von Neumann）、康拉德·楚泽（Konrad Zuse）和阿兰·图灵（Alan Turing）——都或早或晚地把自组织（self-organisation）作为一种计算技术加以探索。冯·诺依曼（至今仍以其名字命名的数字计算机主体架构的设计者）在为美国军方工作期间研究激进的自动化形式，构想一种能够自我复制和自我修复的机器——通用构造器（Universal Constructor）（军方感兴趣的当然是把这一想法应用于能自我复制、自我修复的车辆与火炮）。对"生命有机体"中复制过程的观察启发了在"计算机器"中对其进行模拟，并确立了有机细胞与计算单元之间那个可疑的类比。通用构造器（Universal Constructor）是元胞自动机（cellular automata）一般理论的一种实现——也就是说，一种由计算单元组成的构型，这些单元在二维空间中像有机细胞一样变化和演化（见图6.2）。在这一空间中，元胞自动机（cellular automata）基本上是一些元素簇，它们根据相邻的"细胞"改变构型并移动，组合成不断演化的几何图形，并声称以这种方式模仿自然环境中的生命形式。在1948年的希克森（Hixon）研讨会上，冯·诺依曼敦促其他与会者把计算（包括图灵机和人工神经网络）理解为自组织（self-organisation）的一种形式，他论证说，自我复制的单元仅凭像生物细胞那样复制自身，就能执行计算的全部标准运算。元胞自动机（cellular automata）的思想后来产生了持久的影响。楚泽以1938年在柏林研制出第一台可编程电动计算机而闻名，他提议把元胞自动机（cellular automata）的逻辑扩展到物理学乃至宇宙的一般法则。他1967年的著作《计算空间》（Rechnender Raum）认为，宇宙由离散的空间单元构成，这些单元像元胞自动机（cellular automata）那样自组织（self-organise）——也就是说，依照相邻单元的状态和行为来组织自身。在楚泽看来，原子之间的能量相互作用可以被形式化为计算单元；而且，沿着这一进路，人们可以用组合的方式重写物理定律——例如引力定律。在这个意义上，楚泽把计算空间（calculating space）理论看作一种将会取代量子物理学的范式，正如后者曾取代经典物理学一样。从认识论的角度看，我们在此再次遭遇一个公开渴望成为自然范式的机械范式——只是这一次不是生物学法则的范式，而是物理学法则的范式。确切地说，一种有限状态机（如数字计算机）被抬升为宇宙结构本身的本体论模型。

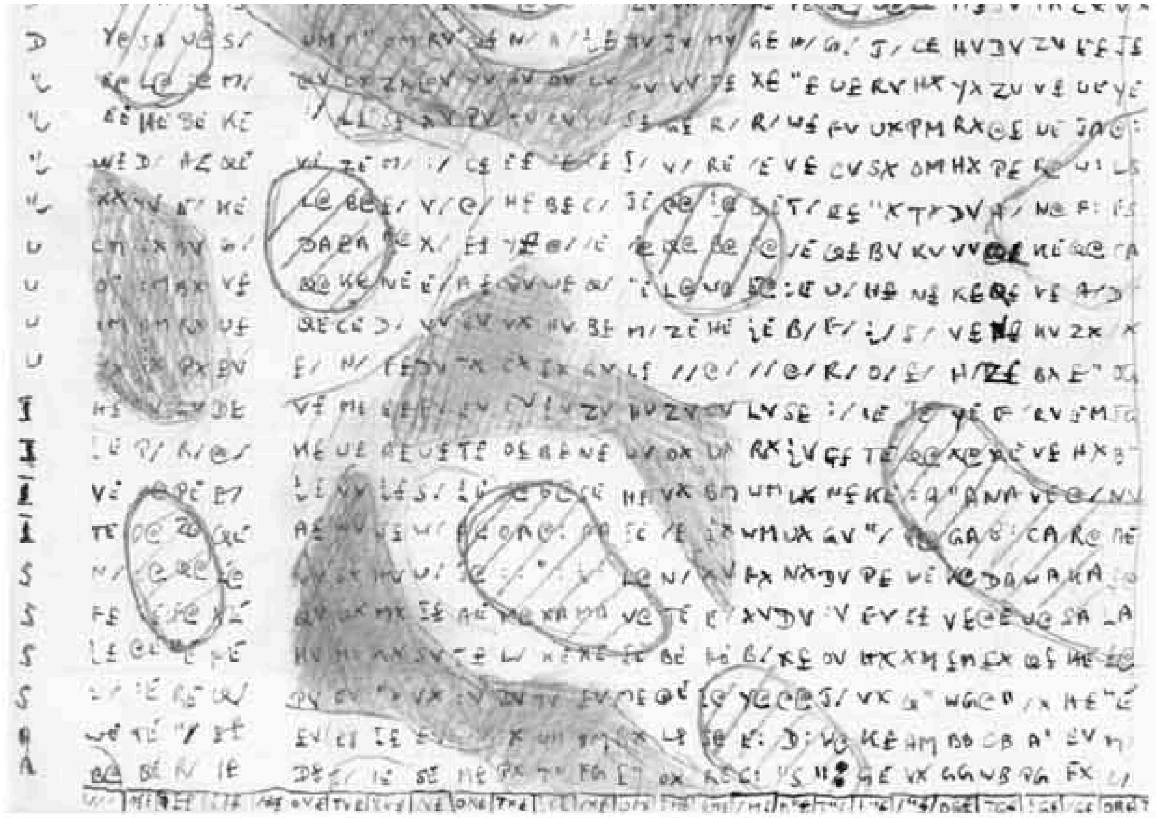
图6.2 通用构造器（Universal Constructor）的操作臂。John von Neumann, Theory of Self-Reproducing Automata（Arthur Burks 编），Urbana, Il: University of Illinois Press, 1966, 371。[26]fig. 6.2[27][28][29]




图灵的论文《形态发生的化学基础》（发表于1952年，即他去世前两年）同样属于自组织（self-organising）计算的传统。在这篇晚期论文中，图灵把有机体的分子设想为自我计算的行动者，它们通过相互作用表现出复杂的自创生（autopoietic）结构。他试图以这一进路，把水螅的触手模式、植物的轮生排列、胚胎的原肠形成、动物皮肤的斑纹以及花朵的叶序，都建模为自组织（self-organising）计算的诸种形式。为了生成这类图案（此后被称为"图灵斑图（Turing patterns）"），他使用了曼彻斯特大学最早的大型计算机之一，不过他也用手工完成了大量计算（见图6.3）。图灵警告说，"这个模型将是一种简化和一种理想化，因而也是一种歪曲"；不过，正如任何控制论者都会做的那样，他表达了这样的希望："这里处理过的想象的生物系统，以及讨论过的诸原理，应当对解释真实的生物形式有所帮助。"

图6.3 显示斑纹图案与计算的图表。Alan Turing，约1950年。Sheet AMT/K3/8，图灵档案，剑桥大学国王学院，局部。[30]fig. 6.3





军方对自组织（self-organising）网络的关切

自组织（self-organisation）理论不仅属于控制论关于活的自动机的梦想，也属于冷战理性的武器库。一如既往，该领域研究的主要资助者是美国军方，它之所以对自组织（self-organisation）的逻辑表示兴趣，是因为把它当作一种替代性的、更高效的计算手段。1950年代末，美国海军研究办公室（Office of Naval Research, ONR）决定资助一系列关于自组织（self-organisation）的研讨会，这些研讨会为当时人工神经网络研究所受到的广泛接纳提供了历史文献。奇怪的是，甚至连玛格丽特·博登（Margaret Boden）鸿篇巨制的 AI 史也未能记录这些其他研讨会的存在，其结果是，历史重要性被一再只授予1956年的达特茅斯（Dartmouth）AI 研讨会。

1959年5月，ONR新设立的信息系统处负责人马歇尔·约维茨（Marshall Yovits）与伊利诺伊理工学院合作，主持了"自组织系统（Self-Organising Systems）"会议。约维茨邀请了来自联结主义（connectionist）与符号主义人工智能（symbolic AI）两大阵营的控制论者。他仿佛预见到了这两种范式即将到来的对峙以及后者的局限，论证说：[31]

> 某些类型的问题——大多是那些涉及本质上非数值类型信息的问题——只有借助表现出高度学习能力或自组织（self-organizing）能力的机器才能得到高效求解。这类问题的例子包括印刷体自动阅读、语音识别、模式识别（pattern recognition）、自动语言翻译、信息检索，以及对大型复杂系统的控制。对这类问题的高效解决，很可能需要把固定存储程序计算机与自组织（self-organizing）机器以某种方式结合起来。[32]

这次会议例证了控制论的跨学科抱负：约维茨强调，一方面，心理学家、胚胎学家、神经生理学家等生命科学领域的研究者正在协力理解自组织（self-organising）生物系统的特性；而另一方面，"数学家、工程师和物理科学家则在尝试设计能够表现出自组织（self-organizing）性质的人工系统"。

这次会议的论文集有助于照亮超出控制论经典主题之外的自组织（self-organisation）之争。尽管会上立场各异，但会议自始至终的主要焦点仍是计算网络的自组织（self-organisation）。电气工程师贝尔蒙特·法利（Belmont Farley）在会议开场时综述了主要的视觉"系统，这些系统自动组织自身，把环境输入分类为可识别的知觉或模式"。法利的论文是他二战期间研究的延续：伦敦大轰炸期间，他曾负责测试一种针对低空飞行的德国空军（Luftwaffe）飞机的新型雷达。这表明，视觉场的自组织（self-organisation）显然早已是军事自动化的关切所在。会议的其他撰稿人还包括动物学家罗伯特·奥尔巴赫（Robert Auerbach），他试图用数学术语描述"胚胎细胞的组织与重组"——具体而言，把它描述为活细胞中的"信息传递（诱导）"，这些细胞被冠以"生长自动机（growing automata）"之名。在这项旨在把握自然中自组织（self-organisation）原理的扩展研究计划中，英国控制论者戈登·帕斯克（Gordon Pask）贡献了发起一门"网络的自然史"的想法，意在证明社会网络与自然网络之间性质的相似：[33]

> （如果）观察者想要利用网络可能具有的任何自组织（self-organizing）潜能，那么他就必须像一位博物学家那样去看待网络……这里在一般意义上使用"网络"一词，指任何一组相互连接且活动可测量的物理实体。自然出现的网络——它们之所以令人感兴趣，是因为它们具有自组织（self-organizing）的性格——例如：一片沼泽、一个微生物群落、一个研究团队，以及一个人。

这次1959年的研讨会之所以重要，还在于它能让我们以透视的眼光看待麦卡洛克（McCulloch）与皮茨（Pitts）关于人工神经网络的原初想法：它们不只是输入—输出的黑箱机器，而是力图模仿并体现神经可塑性的系统。在他与皮茨1943年奠基性论文发表十余年之后，麦卡洛克参加了这次研讨会，强调自组织（self-organisation）是神经网络的关键，而且同一原理应当用于设计一个"由会出错的神经元构成的不出错的网络"。麦卡洛克的直觉（时至今日，它仍既是机器学习的强项也是其局限）是：计算不必精确也能高效，它反而可以建立在"计算的冗余"之上。在人工神经网络的范式中，"信息被送到一大堆所谓的神经元那里，而这些蹩脚的神经元以并行计算的方式工作，即使作为组件的神经元表现失常，也能得出正确答案"。[34]

ONR 资助的后续活动，是1960年由海因茨·冯·福尔斯特（Heinz von Foerster）与伊利诺伊大学厄巴纳—香槟分校生物计算机实验室合作召集的"自组织原理研讨会（Symposium on Principles of Self-Organization）"。这次研讨会的论文集同样证明：麦卡洛克与皮茨的人工神经网络，以及罗森布拉特（Rosenblatt）的人工神经网络，都属于一个更大的群岛，其中散布着关于自组织（self-organisation）的类似研究计划。大多数论文与神经网络（也被称为"随机网络（random networks）"）领域相关，涵盖学习技术、纠错、归纳推理、分布式记忆、模式识别（pattern recognition）等议题，以及自组织（self-organising）硬件单元——即神经晶体管（neuristor）——的原型（用今天的话说，就是神经形态芯片）。[35]

与会者中值得注意的是新自由主义经济学家弗里德里希·哈耶克（Friedrich Hayek）的在场，他曾于1952年撰写了一部常被忽视的关于联结主义（connectionism）的专论《感觉秩序》（The Sensory Order）（见第八章）。哈耶克的在场标示出：在自组织（self-organisation）这一主题上，军方、经济学家、控制论者与实业家的利益相互交叠。就控制论者而言，他们急于证明其理论能够造福经济与产业。研讨会以斯塔福德·比尔（Stafford Beer）的"英国最大钢铁厂

之一的脑电图"开场，绝非偶然——该报告把一座工厂的组织视同于一个大脑。比尔在其1959年的著作《控制论与管理》（Cybernetics and Management）中就已提出过一份"控制论工厂草图"，它例证了控制论以同样方式塑造机器、有机体与工人的政治态度。尽管比尔后来于1971年与萨尔瓦多·阿连德（Salvador Allende）的社会主义政府合作开展 Cybersyn 计划，但他始终持有一种管理主义的经济观。在这次会议上，他首要关切的似乎是工业管理——即主宰者之眼（the eye of the master）——的自组织（self-organisation），而非社会的任何其他方面。[36]

Cybersyn 计划的终结，堪称自组织（self-organisation）政治之扭曲命运的典型例证。Cybersyn 是一个用于管理智利经济的通信网络。它与阿帕网（Arpanet，由美国国防部资助的互联网前身）处于同一时代，却不如后者先进。阿帕网的特点是基于分组交换（packet-switching）通信的去中心化网络，而 Cybersyn 则始终是一张由电传打字机连接到单台大型计算机的中心化网络。阿帕网基于这样一种想法：去中心化的通信网络能够在敌方打击下幸存，正如大脑的神经网络在受伤时会重新组织自身。美军先于任何人挪用了这一网络可塑性的想法。当中央情报局（CIA）支持的政变终结了萨尔瓦多·阿连德的生命（以及智利的民主）时，Cybersyn 计划也随之终止。[37]

从线性信息到自组织（self-organisation）信息[38]

从今日深度学习的视角来看，正是弗兰克·罗森布拉特（Frank Rosenblatt）参与这些会议一事显得至关重要。1957 年，在纽约布法罗的康奈尔航空实验室，罗森布拉特研制出第一个统计式人工神经网络"感知机"（perceptron），它经过几代改进后将奠定深度学习的架构。罗森布拉特参加这些会议是为了替他的原型辩护，而这些原型还是相当脆弱的实验。感知机脱胎于多种理论与技术影响（见第九章），被设想为一种自组织（self-organisation）的计算网络：为了识别一个模式，它会通过逐步把参数调整到与输入数据相符，来找到参数的最优值。正如罗森布拉特在其中一次会议上所言，感知机"是自发地达成其组织的，而非将组织内建于系统之中"。

作为一台装置，感知机是什么样子的呢？最早的原型之一——Mark I感知机（Mark I Perceptron）——是一台模拟-数字混合机器，它包含一个由 20 × 20 个光电池组成的输入装置（称为"视网膜"），这些光电池通过导线连接到一层人工神经元，最终归结为单一输出（一只灯泡的亮或灭，用以表示某个模式是否被识别）。感知机的视网膜记录诸如字母和三角形之类的简单形状，把电信号传递给一系列人工神经元，这些神经元会将信号求和，并按照一种累积逻辑记住一个结果——在某种程度上正如罗森布拉特最初所设想的那样，实现了赫布（Hebb）关于形成细胞集群的规则。

在 1959 年的"自组织系统"（Self-Organising Systems）会议上，罗森布拉特的贡献关注视觉刺激的泛化——也就是在充满噪声的环境中识别相似的模式。他的论文旨在解释"一个大脑，或类脑系统，如何能够在一个感官模式或图像的各种可能变换之间辨认出相似性"。他所处理的问题，是用于模式识别（pattern recognition）的统计式神经网络能否泛化到超出其训练数据集范围之外的能力。用简单的话说，就是在不同视觉朝向下"区分[字母]N 与 Z 的两难困境"。罗森布拉特阐释其项目的方式，至今仍可用来说明一个深度学习算法的运作：

这个系统能够"抽象出"在某个特定环境中最为常见的那些变换，并把它们应用到新的刺激上，而这些新刺激在形式上可能与它此前所见过的任何东西都大不相同。它似乎实现了那些更为刚性设计的系统所能达成的全部结果，但它是自发地达成其组织的，而非将组织内建于系统之中。它实际上是一个"学会学习"的系统，其意义在于：在预调节的经验之前，它只能通过邻接泛化这种缓慢而费力的方法，从某个给定刺激泛化到它的变换；而在见过一个合适的预调节序列（不包括用于测试目的的刺激）之后，它就能直接完成同样的任务，而无需任何可观的学习期。

正如罗森布拉特在 1961 年"自组织原理"（Principles of Self-Organisation）会议上所解释的，感知机的设计之所以与以往的人工神经网络不同，恰恰是由于它的自组织（self-organisation）行为，而这种行为是通过它的"强化控制系统"实现的。尽管按罗森布拉特的说法感知机是一个"大脑模型"，但它更多地关乎信息的自组织（self-organisation），而非对有机结构的模仿。因此，它所标志的与其说是计算中的一次生物形态转向，不如说是一次拓扑学转向。计算机科学家马文·明斯基（Marvin Minsky）和西摩·帕珀特（Seymour Papert）带着几分贬义，把联结主义

（connectionism）改称为"计算几何学"，因为它基于对空间关系的计算，而非"真正的人工智能"的一个实例。[39]

更一般地说，这次拓扑学转向标志着从一种线性信息范式到一种自组织（self-organisation）范式的过渡——我认为，庞大的机器学习技术家族正应在后者之下来加以考量。的确，它把第二个空间维度引入了一种计算模型，而在此之前，这种模型主要是在数值计算机的线性维度中被理解的。感知机并不像传统的指令程序那样（遵循图灵机的图式，通过一种自上而下的算法来处理视觉矩阵），而是按照像素的空间分布，以一种自下而上、并行的方式来计算其视觉矩阵中的像素。就计算形式而言，像感知机这样的人工神经网络隐然标记了这两种范式之间的分岔：一种是线性信息范式（大体由电报、数值计算机以及符号主义人工智能（symbolic AI）等媒介所代表），另一种是自组织（self-organisation）信息范式（由控制论系统、元胞自动机，以及最终的联结主义人工智能（connectionist AI）所代表）。人工智能史家休伯特·德雷福斯（Hubert Dreyfus）和斯图尔特·德雷福斯（Stuart Dreyfus）以类似的方式概括了符号主义学派与联结主义（connectionism）学派之间的认识论区分：[40]

一派把计算机看作一个操纵心智符号的系统；另一派则把它看作一种为大脑建模的媒介。一派力图用计算机来例示对世界的形式化表征；另一派则力图模拟神经元之间的相互作用。一派把问题求解当作其智能的范型；另一派则把学习当作范型。一派运用逻辑；另一派则运用统计学。一派是哲学中理性主义、还原论传统的继承者；另一派则把自身看作一种理想化的、整体论的神经科学。

本书并不复述二十世纪线性信息的传奇——控制论反馈回路、序列式媒介以及符号主义人工智能（symbolic AI）的传奇——而是讲述自组织（self-organisation）信息这条平行的故事线；然而，要从生物形态论的遗产以及诸如人工生命（Artificial Life）之类的研究范式中解放出来，讲述这条故事线是必要的。

## 计算式思维与心智的机械论类比[41]

关于控制论的科学抱负，存在着相当大的误解。实际上，控制论并不是一门科学，而是乔装打扮的一个工程学流派——一个自信到足以把它的信息类比和计算类比扩展到自然与社会诸多

方面的流派。本书力图澄清：控制论者并非如他们所声称的那样把机器设计得像有机体（生物形态论），而是最终把有机体设想得像机器（技术形态论），而这些机器又映照着他们自身周遭的社会秩序（社会形态论）。就像更早几个世纪的自然哲学（典型例子是拉美特利 1747 年的《人是机器》），控制论者把他们那个时代由电报网络、机电继电器、反馈系统和电视扫描器构成的技术构成，投射到自然与大脑的本体论之上。控制论者所追求的并不是一种科学的、实验的方法，而是一种思辨的（且往往幼稚的）类比方法，即把预先构成的规则映射到自然之上，而非对新规则提出假说。麦卡洛克（McCulloch）、皮茨（Pitts）和冯·诺依曼（von Neumann）坚持认为大脑神经元是功能上等同于机电继电器的"开关器官"，这就是控制论那种自负类比的一个好例子。

有机体与机器之间的类比，乍看之下似乎是工程学与生物学两门学科之间的一个认识论翻译问题，但事实上，它指向控制论工程学一种更为深层的态度：把一台工业机器看作一个有机体、一个活的存在，其伦理含义是什么？和"计算机科学"一样，控制论并不是一门科学，而是一种人工语言，一部关于机器部件的操作手册——一种"机器符号学"，只不过它被强行翻译成了一套关于自然的本体论。但是，如果说技术确实能够影响科学范式以及关于宇宙的模型，那么同样确实的是，技术自有其恶魔，并在其自身领域内被外部力量所塑造。例如，电报这样的通信网络，并不单纯是技术装置，而是社会制度。控制论者把他们自己职业中所隐含的技术构成——以其劳动和知识的形式——投射到一种关于世界的新范式之上。具体而言，他们把那些本已属于其周遭社会的劳动分工（division of labour）和技术组织之一部分的自组织（self-organisation）形式，投射到自然之上。控制论者声称模仿活的存在之自组织（self-organisation）来建造机器，其方式所隐然揭示的，与其说是关于自然的东西，不如说是关于他们那个时代的社会组织与劳动关系的东西。[42]

麦卡洛克曾声称"每一个机器人都提示着一个关于人的机械论假说"。控制论认识论的这一论点主张：机器的发明可能有助于发现关于

人类如何运作的洞见，其依据是那种还原论式的观念——机器与有机体存在于同一个宇宙之中，因而必须服从同样的物理规则。但这里的"机器人"（robot）一词很能说明问题，因为它有着工业与封建的双重来历，它可以暗示另一层意思。若把这一论点的全部含义解读出来，它实际上可能意味着：每一种形式的劳动自动化都道出了某个特定时代的认知模型的某种东西。到头来，它印证了历史认识论（historical epistemology）的一个主要关切：一个特定时代的劳动组织，会影响技术与工具的形成，进而也影响科学范式、关于自然的构想以及关于心智的模型的形成。[43]

对工业时代所阐明的东西，似乎对信息时代也同样成立：生产资料（在这里不单是电报和计算机，还有人工神经网络）在其内部设计上模仿着生产关系，也就是社会中劳动的那种扩展的组织。信息技术之所以加强了对社会的掌控，靠的是这种适应，而不是像技术决定论者所主张的那样靠某种技术先验（technological a priori）的力量，而是靠一种社会先验（social a priori）——也就是靠它们与生俱来的、捕获社会协作的能力。十九世纪的自动化的劳动理论（labour theory of automation），在信息时代也找到了印证。[44]

归根结底，最成功的人工智能技术（即人工神经网络）恰恰是最能映照、因而也最能捕获社会协作的那一种，这一点毫不令人意外。联结主义人工智能（connectionist AI）范式之所以胜过符号主义人工智能（symbolic AI），并不是因为前者更"聪明"或更善于模仿大脑结构，而是因为归纳的、统计的算法在捕获社会协作之逻辑方面，比演绎的算法更有效率。通过追溯从线性信息到自组织（self-organisation）信息的演化，数据分析、机器学习和人工智能的历史，可以开始被放到透视中来看——看作技术圈内部一个宏大的自组织（self-organisation）过程，以追随社会秩序的转型。

信息论、控制论、人工智能和计算机科学这些学科及其名称，全都是在 1950 年代确立起来的。正如我们所见，尽管美国军方在资助其中许多项目上扮演了重要角色，但若认定这些学科的起源应完全归功于它们，那就错了。事实上，本书意在拓宽这一既定的谱系。针对信息技术的技术决定论解读和强内在论解读，我提出了一个同样强硬的外在论假说：信息机器的设计——甚至在其算法的逻辑形式这一层面

上——是对广义的社会互动形式作出的回应。换言之，在二十世纪，并不是信息技术首要地重塑了社会（正如"信息社会"那种被神话化的图景所暗示的那样）；毋宁说，是社会关系从内部锻造了通信网络、信息技术和控制论理论。信息算法是按照自组织（self-organisation）的逻辑来设计的，以便更好地捕获一个正在经历剧烈转型的社会与经济领域。

自主与自动化[4546]

在二十世纪下半叶，"自主！"（Autonomy!）成为控制论与新兴反文化共同的口号。由美国军方资助的高层控制论学者们正在讨论有机体与机器中的"自组织（self-organisation）原理"，而与此同时，反威权运动也在为社会与政治机构提出同样的主张。因此，这两种倾向虽然目的不同，却都在争论同一个问题：一个系统能否对抗外部的统治者而给自身立下新规则（事实上，这正是"自主"一词的本义）。它们各自都以自己的方式构成一种政治先锋，都是对过时政权支配的回应：欧洲法西斯主义、斯大林主义极权主义，以及美国资本主义。"控制论"（cybernetics）与"垮掉的一代"（beat generation）这两个词恰巧都诞生于1948年。数年之后，Norbert Wiener 把法西斯主义与西方公司体制都定义为"对人的非人使用"的意识形态，而控制论则声称要提供一种更"人性地使用人"的方案。然而，控制论实际上在二战期间及战后强化了美国的军事霸权，反文化与学生运动却坚决抵制越南战争与军备竞赛。自主的规划对这两方显然意味着不同的东西。对反威权运动而言，它代表自我决定的自由，是建立新机构与另类生活形式的手段。对控制论学者而言，它则是全面自动化与开明社会控制的技术乌托邦：一种同样包含了 AI 计划的军事与工业幻想。就连军队——这一最传统的等级化结构——竟然也对分布式通信与自组织（self-organisation）网络抱有切身利益，这本身就是更深层变革的征兆。

在1960年代，加州大学伯克利分校的言论自由运动（Free Speech Movement）理直气壮地谴责最早的大型主机计算机是政府与公司手中的战争与社会控制技术。媒介学者 Fred Turner 记述道，1964年12月2日，在加州大学伯克利分校五千多名学生面前，活动家 Mario Savio 发表了一篇火药味十足的演讲，其中"三句话后来不仅定义了伯克利的言论自由运动，也定义了1960年代席卷全美乃至大半个欧洲的反文化激进主义"：[47]

> 有一个时刻，机器的运转变得如此可憎，让你心中作呕到无法参与其中，甚至无法默许地参与其中。这时你就必须把自己的身体压上齿轮、压上轮盘、压上操纵杆、压上整套装置，你必须让它停下来。你还必须让运转它的人、让拥有它的人明白：除非你获得自由，否则这台机器将根本无法运转。

在 Turner 看来，Savio 的演讲唤起了前数字时代的记忆，那是工人们在工厂车间里与机器肉身搏斗的图景。然而，他同时也把"机器"一词联系到现代社会对信息技术的依赖——信息技术当时已开始在相当程度上组织社会关系本身。[48]

这种对信息技术的批判在随后的十年里发生了极性反转：计算机科学吸收了早先反文化的抱负，而反文化自身则转而宣称信息技术具有解放潜能（并最终蜕变为所谓的赛博文化）。社会自主与技术自动化之间这种争议性的交缠，其实早已潜伏在1960年代的论争之中，尽管处于地下状态。反文化中的某些成分，尤其是受东方灵性启发的那些成分，对控制论产生了一种天真的迷恋。1968至1972年间在加利福尼亚出版的《全球概览》（Whole Earth Catalog），可谓控制论传统与生态学传统的顶点与综合。Richard Brautigan 在其著名的讽刺诗《一切都由慈爱的机器照看》（'All Watched Over by Machines of Loving Grace'）中定格了这一合流。另一方面，欧洲的声音——如法兰克福学派的 Herbert Marcuse 以及自主主义马克思主义者——则在争取从工业劳动中解放出来的斗争中重新收回了自动化。在意大利，自主运动（autonomia）有一句著名口号高呼："Lavoro zero e reddito intero, tutta la produzione all'automazione"（零劳动、全额收入，一切生产交给自动化）。[49]

"自主"（autonomy）、"自主的"（autonomous）、"自动化"（automation），以及更具歧义的"自动/自主

化"（autonomisation）——后者依语境不同，或指"被自动化"，或指"变得自主"——这些词并不等价，也都不同于"自组织（self-organisation）"。从词源上看，古典希腊语的 autonomia——由 autos（"自我"）与 nomos（"法则"）构成——意指为自身立下新习惯、新规则与新法律的权力。现代性把这种权力认定为立法机构所有，尤其是奠立国家政治秩序的制宪会议。自主同时是一种建制性权力（constituent power）与去建制性权力（destituent power）：每当一条新规则被发明出来，一条旧规则就可能被这一新发明所颠覆、废止或吸纳。但反过来也同样成立：每当一条规则被打破，一种反常就会成形，而一部新的宪制——一种新的世界图景——也就随之被隐含地提出。[50][51]

在控制论中，自主被定义为一个由多个行动者组成的技术系统在面对外部输入时找到新组织与新平衡的能力——也就是适应环境的能力。据此，一个技术系统被认为会显示出某些涌现属性，而这些属性可能被人类观察者感知为"智能的"。这些问题至今仍纠缠着人工智能之梦：一台有限状态自动机——即一台计算机——能否显示出自主的属性？一台被编程为遵循严格规则的计算机，能否反叛其核心指令并发明新的规则？如果说自主是发明新规则的权力，那么自动化就可以被定义为对规则的盲目遵循，计算正是如此。就此而言，奥地利哲学家 Ludwig Wittgenstein 曾指出，"遵守规则"对人与对机器而言永远具有不同的含义。考虑到近来关于 AI 偏见的争论以及对"超级智能"风险的种种揣测，人们不禁要问：AI 这场游戏究竟是否仍然在自动化的领域（遵循规则）之内进行，而非在自主的领域（打破规则）之内？[52]

最后，提出一个针锋相对的主张作为结论：自动化技术从来都是对社会自主的回应；同样，人工神经网络这类自组织（self-organisation）的控制论技术，一直是其时代新兴社会关系的化身。回头看去，控制论与战后社会运动都直接关联于劳动过程与社会行为中知识与信息的自主化（autonomisation），而正是这一自主化进程触发了新媒介与新技术的兴起。这些论点多年来已成为知识社会与信息经济诸理论中的通行解释，以至于连新自由主义的经济范式——例如哈耶克的市场自发秩序（spontaneous order），或曰"卡塔拉克西"（catallaxy）——也可以被视为对全社会范围内信息交换加剧的回

应（见第八章）。唯物主义史学家承认这两种运动之间的辩证关系：一边是新一代工人对社会自主的驱求，另一边是自动化新技术的出现。归根结底，二战后形形色色的自动化规划乃是治理正在发育的社会力量的一种方式——也就是说，针对一个日益不驯服的社会而组织一场"控制革命"（control revolution）（Beniger 语）。至少在全球北方，学生与计算机程序员被转化为一种类似于产业工人运动的新政治主体性，这并非偶然，因为全球经济正日益以信息、知识与科学为关键的经济驱动力。[53]

在1960年代末，政治哲学家 Mario Tronti 提出要颠倒一个当时在马克思主义内部也属主流的论题：人们向来认为，是资本主义发展塑造了工人的组织及其政治。与此相反，Tronti 主张：资本主义发展——包括技术创新——从来都是由工人斗争所触发的。耐人寻味的是，在 Tronti 这样一位欧洲知识分子看来，"工人阶级斗争在1933年至1947年间达到了其发展的最高水平，而且恰恰是在美国"——而这些年份又恰好见证了控制论与数字计算的兴起。要讲述二十与二十一世纪社会与技术的联合演化，正应当发掘这类激进而非常规的视角。纵观本书试图分析的诸种历史转型，可以看出：AI 计划从来就不是真正拟生物的（biomorphic）（如前所述，即以模仿自然智能为目标），而是隐含地拟社会的（sociomorphic）——其目标在于编码社会协作与集体智能的形式，以便控制它们。智能自动化的命运无法与朝向自主的政治驱力割裂开来看：归根结底，正是社会心智的自组织（self-organisation），为 AI 计划赋予了形式与动力。[54]

7[55][56][57]

# 7

# > 当工业革命以更大更好的炸弹告终之际，一场智识革命正以更大更好的机器人拉开序幕。

> 沃伦·麦卡洛克（Warren 麦卡洛克），希克森研讨会，1948年 1

> 为了理解高度复杂的自动机，尤其是中枢神经系统，需要一种新的、本质上属于逻辑的理论。然而，在这一过程中，逻辑或许将不得不向神经学发生一种伪同晶转化（pseudomorphosis），且其程度远甚于相反的方向。[1]

> 约翰·冯·诺依曼（John von Neumann），希克森研讨会，1948年 2

关于格式塔知觉的争论[2]

为人工神经网络铺平道路的那一直觉，其核心是一场旷日持久的争论：人类知觉究竟是不是一种可被分析性地表征、因而可被机械化的认知行为。关于这一问题的对峙在1940年代的梅西会议（Macy conferences）上激化，一方是控制论者（他们主张，整个知觉场可以由诸如简单电继电器之类的机器整体地计算出来），另一方是格式塔学派（他们坚持认为，机器永远

无法模拟人类心智那种复杂的综合能力）。3 它构成了源自欧洲、持续进行的格式塔争论的新篇章；然而这一次，随着主角们从纳粹德国流亡到美国，除了此前由哲学家、心理学家和神经学家组成的阵容之外，还加入了数学家和工程师。4 事实上，正是在这场辩论的余波中，"格式塔知觉"（Gestalt perception）这一说法在军事报告和学术出版物中逐渐演变为更为人熟知的"模式识别"，并为人工神经网络的实验注入了动力。5

沃伦·麦卡洛克和沃尔特·皮茨（Walter 皮茨）等控制论者提出了对知觉行为的一种极端简化，任何艺术史家都会对此退避三舍。然而，他们的研究却在"知觉的自动化"上引发了一场突破，半个世纪之后，这一突破在深度学习广为人知的成就中得以展开。6 在控制论者把知觉能力还原为一种简单的二元分类行为（某个图像是否属于某个给定类别）之前，马克斯·韦特海默（Max Wertheimer）、库尔特·考夫卡（Kurt Koffka）和沃尔夫冈·苛勒（Wolfgang 苛勒）等格式塔学者早已提出了一种更为复杂的知觉理论。格式塔理论有一著名论点，即人先感知整体、后感知部分——例如，一段旋律即便以不同的音阶和不同的音色演奏，仍然可以辨认。它指向种种图像闭合现象，例如尽管关于各要素的信息有限，人仍能在下意识中把某一构型作为整体来感知（例如从三个分离要素的抽象关系中感知出一个三角形）。最终，它被形式化为"简约律"（Prägnanz）诸原则（邻近、相似、连续、连通等），并凝练为那句著名的格言"整体不同于其部分之和"。[345]

机器学习教科书反复重申一种标准说法，即麦卡洛克和皮茨对人工神经网络的发明受到大脑神经生理学的启发，却忽视了更广阔的智识语境，其中就包括他们与格式塔学派的对峙。尽管人工神经网络可被视为对某一自动化难题的出色解答，但正是格式塔学派把对视觉形式的知觉确立为需要应对的关键问题。格式塔理论敦促控制论者通过某种计算架构去解决的具体问题，正是对某种模式（如一幅图像）的识别。对一幅图像的识别是否等同于逻辑推理？麦卡洛克和皮茨认为如此，因而主张任何视觉模式（哪怕是复杂、模糊而不完整的模式）都可以通过计算其各要素在视觉场内的关系而得到完全的界定。在他们

看来，对某一模式的识别（或分类）可以由一种算法来解决，该算法把庞大的输入计算为一个简单的二元输出（0 或 1），并以此方式表征一个简单的二元问题："这幅图像是否属于某个给定的类别？"[6]

在梅西会议上经过短暂的交锋之后，格式塔争论在一场专门的活动上会合：1948年在帕萨迪纳的加州理工学院举行的、以"大脑机制与行为"为主题的希克森研讨会（Hixon symposium）；麦卡洛克、冯·诺依曼和苛勒，以及著名心理学家海因里希·克吕弗（Heinrich Klüver）、卡尔·拉什利（Karl Lashley）等人均出席其中。7 希克森研讨会是计算史上的一个分水岭事件：就连约翰·麦卡锡（John McCarthy）也承认，他那个为1956年达特茅斯会议而杜撰的、颇为讨巧的术语"人工智能"，正是受到他早年作为数学研究生出席这场更早的研讨会的启发。8

在当时，对立的两派谁都没有赢得这场争论。正如物理学家兼科学史家史蒂夫·海姆斯（Steve 海姆斯）所指出的："在某种意义上，两人都是浪漫主义者，苛勒的浪漫在于他的整体论，麦卡洛克的浪漫在于他的机械论。"9 事实上，正是冯·诺依曼提出了格式塔理论与计算逻辑的综合，这一综合最终推动了该领域的进展，并启发了罗森布拉特（Rosenblatt）的神经网络感知机（perceptron），后者以统计演算取代了麦卡洛克和皮茨那种僵硬的逻辑。本章旨在重新审视格式塔理论对人工智能史的影响，并特别凸显人工神经网络从逻辑推理的媒介向模式识别的工具的转变。于是，格式塔争论与希克森研讨会被提出来，作为人工智能的一部另类历史：它不再重审符号主义人工智能那项（失败的）事业及其把演绎逻辑机械化的雄心，而是把焦点转向联结主义的谱系以及归纳逻辑的自动化。[78]

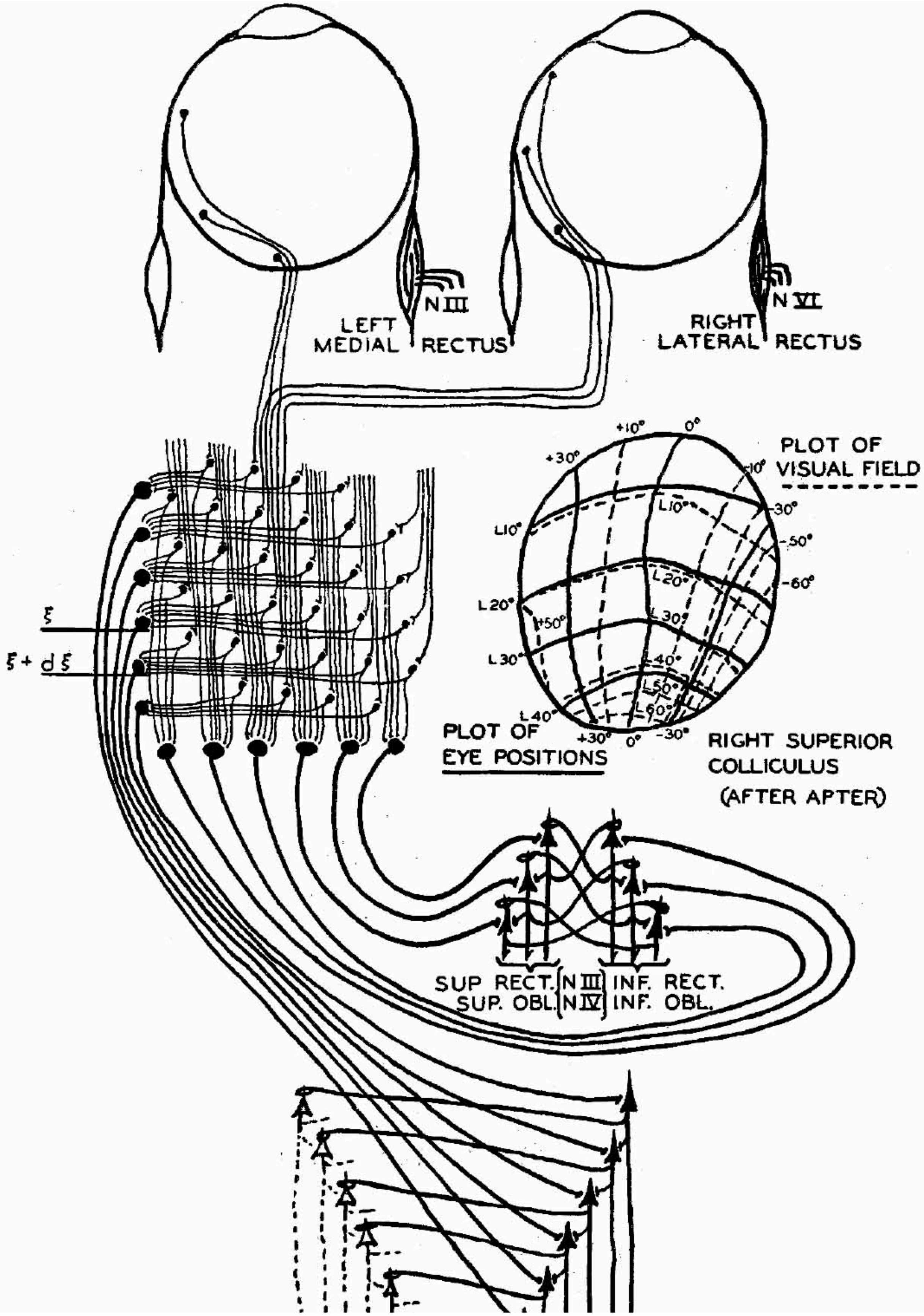
格式塔争论是一块由未解问题构成的认知化石，如今深埋于深度学习的核心，对它的研究能帮助我们理解二十一世纪的人工智能所继承的逻辑形式及其局限。10 格式塔争论还指向一种仍在当代机器学习中运作的视觉无意识，因为在过去几十年里，模式识别技术已经从视觉信息数据集扩展到了非视觉信息数据集。命运出现了一个奇特的转折：正是作为模式识别的知觉机械化，被当作认知的机械化、亦即人工智能来兜售。然而，尽管人工神经网络乃至今日的深度学习起源于视觉的自动化，用拟人化的知觉隐喻来描述它们的运作却是误导性

的。正如人们常说的那样，机器视觉什么也"看"不见：算法所"看"到——也就是所计算的——不过是某个二维矩阵中各数值之间的拓扑关系。归根结底，人工神经网络带来的突破，就本例而言，与其说是拟生物的（biomorphic），不如说是拓扑式的。换言之，它与其说是在模仿眼睛视网膜中神经网络的结构，不如说本质上是在发展自组织（self-organisation）信息的技术，以读取视觉矩阵。[9]

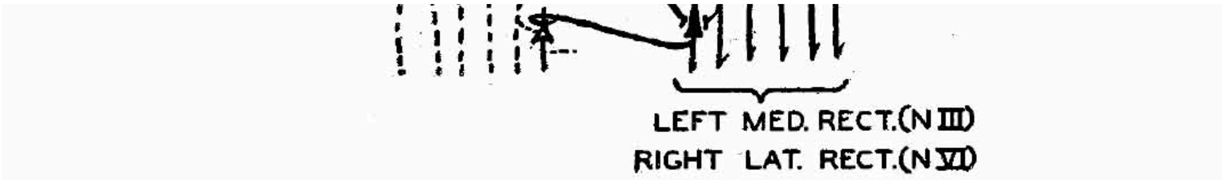
人工神经网络的发明[10]

正如前一章所述，人工神经网络的发明因麦卡洛克（麦卡洛克）与皮茨（皮茨）的一篇里程碑论文而被奉为正典：《神经活动中内在观念的逻辑演算》（'A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity'，1943）。随后又出现了另一篇关键文本，它是对格式塔（Gestalt）争论的直接回应：《我们如何认识共相》（'How We Know Universals'，1947）。前者引入了用人工神经元网络来自动化逻辑推理的构想，而后者则把这一构想的应用推进到"听觉与视觉形式的知觉"（见图7.1）。从前者到后者的过渡标志着一次逻辑上的决裂。1943年的论文把神经网络设想为进行命题演算的演绎机器，而1947年的论文则指向了使模式识别自动化的归纳机器。值得记住的是，麦卡洛克与皮茨1943年的论文并未提及计算机，因为计算机当时还不是一项成熟的技术。

图7.1. 中脑上丘（superior colliculus）示意图。Warren 麦卡洛克 and Walter 皮茨, 'How We Know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms', Bulletin of Mathematical Biophysics 9, no. 3 (1947): 141.[11]fig. 7.1[12]



N III
LEFT
MEDIAL RECTUS
N VI
RIGHT
LATERAL RECTUS
PLOT OF
VISUAL FIELD
PLOT OF
EYE POSITIONS
RIGHT SUPERIOR
COLLICULUS
(AFTER APTER)
ξ
ξ + dξ
SUP RECT. N III INF. RECT.
SUP. OBL. N IV INF. OBL.




为了以恰当的历史视角看待 AI 的历史，此处有必要澄清演绎逻辑与归纳逻辑之间的区别。自莱布尼茨提出"推理演算器"（calculus ratiocinator）的构想以来，追求机器智能（machine intelligence）的现代规划一直建立在这样一个公设之上：人类逻辑可以由命题逻辑（"若 x，则 y 为真/假"）来表达，而命题逻辑等价于布尔逻辑（AND、OR、NOT 算子）。按照这种形式逻辑表达的命题，可以轻易地被编码进由旋转齿轮、电磁继电器或电子门（如电子管或晶体管）构成的机制之中。细看之下，这类逻辑追求的是一种线性的理性形式，它复制了书面语言的线性以及依照演绎推理规则进行的符号操作——图灵机及其从一维纸带上执行指令的方式便是这一进路的典型例证。符号主义人工智能、专家系统和推理引擎都是这种演绎机器倾向的例子，这一倾向一直延续到1980年代。另一方面，人工神经网络——连同所有的机器学习算法——则是归纳机器的例子。演绎逻辑是规则的应用，即从一般推向特殊的推理；而归纳逻辑则是从特殊推向一般的推理，并由此形成分类规则。经典的例子是从"每个人都会死"这一发现走向"所有人都有一死"这一规则的确立。演绎逻辑与归纳逻辑之间的这一对立，不仅是理解格式塔（Gestalt）争论的关键，而且也是理解机器学习兴起的关键。

据海姆斯（海姆斯）的记述，在格式塔（Gestalt）学者苛勒（苛勒）备受期待地到访纽约梅西会议（Macy conferences）之前，克吕弗（Klüver）向在场的科学家们发出了一项挑战：提出一种关于"自动机如何能够知觉格式塔（Gestalten）"的理论。麦卡洛克与皮茨接下了克吕弗的挑战；在梅西基金会与洛克菲勒基金会的资助下，他们正试图超越自己1943年的证明——即一个由简化的模型神经元构成的有限网络，可以计算任何能够用语词无歧义陈述的东西。这一次，他们的目标是为知觉等特定的脑功能开发神经机制，并且最好精确到足以接受实验检验。

作为这场讨论的成果，1947年，麦卡洛克与皮茨发表了论文《我们如何认识共相：听觉与视觉形式的知觉》。与1943年的前一篇相比，这里关心的不再是依照线性逻辑对命题进行计算，而是对一个二维矩阵中的模式的识别。麦卡洛克与皮茨构想了一种"装置"，借助它，"体现于特殊神经结构中的众多网络，可以依据有用的共同特征对信息进行分类"。这一"装置"会是什么样子？鉴于1940年代末的技术发展水平，它必须由——例如——能把视觉输入转化为数字图像的光感受器构成；所谓数字图像，也就是一个由数值度量的像素网格。撇开色彩细节不谈，这样的网格想必必须以二进制数字编码：黑色像素取

值1，白色像素取值0。麦卡洛克与皮茨的模式识别装置是这样一种计算网络：如果识别出某个模式，它就把一个二进制数网格解算为二进制输出1（真）；如果没有识别出模式，则输出0（假）。[13]

用数学的语言说，模式识别装置是这样一种算法：对于人类归为同一类型模式的任何输入，它都计算出相同的输出。麦卡洛克与皮茨想用他们的数学装置挑战格式塔（Gestalt）学派对人类认知独特性的信念，并证明知觉可以被算法化地描述并被自动化。他们对用于模式识别的人工神经网络的最初表述如下：[1415]

> 体现于特殊神经结构中的众多网络，依据有用的共同特征对信息进行分类。在视觉中，它们探测由相似与全等关联起来的诸显象的等价性，比如从不同位置看到的同一物理事物的诸显象。在听觉中，它们识别音色与和弦，而不论音高如何。在所有情形中，等价的诸显象共享一个共同的图形，并定义了一个变换群，该变换群把这些等价物彼此转换，却保持图形不变。例如，平移群把出现在某处的正方形移到别处，但正方形这一图形保持不变。这些图形就是嘉当（Cartan）与外尔（Weyl）的几何对象，就是韦特海默（Wertheimer）与苛勒（苛勒）的格式塔（Gestalten）。我们寻求设计神经网络的一般方法，使之以如下方式识别图形：对属于同一图形的每个输入都产生相同的输出。

> 按照麦卡洛克与皮茨的看法，即使格式塔（Gestalt）识别的原则看似涉及一种深刻的抽象能力——例如闭合现象（再次借用前引的例子：从不完整的线条与不相连的点中识别出一个三角形）——也仍有可能对其进行计算。尽管这看上去可能是还原论的，麦卡洛克与皮茨实际上提出的是知觉与认知之间一种复杂的维度双形性（dimorphism of dimension）。格式塔理论家坚持认为，知觉与认知处于一种连续的同构（isomorphism）之中：对象的空间关系与其知觉物同构，从而也与其心理意象同构。与此相反，麦卡洛克与皮茨提出了这样一种可能性：把图像的二维关系转换为一种一维表征——基本上就是一个代码，或一个逻辑命题——而不损害信息的内容或质量。[16]

这是联结主义与 AI 历史中的关键一步：麦卡洛克与皮茨论证说，图像与其逻辑表征之间的同构（isomorphism）并非必需。例如，三角形的形式不必作为一个同构的三角形被记忆在大脑的某些部位，而是可以分布于不同的维度之上（这种拓扑变换在深度学习中也被称为"内部表征"（internal representation））。两位科学家提出这一假

说以反对格式塔（Gestalt）学派，主张一个视觉流形可以由一台线性信息（linear information）机器——例如图灵那样的机器——来计算：

> 这一点尤其是针对格式塔（Gestalt）心理学家提出的，他们不肯设想一个图形能以别的方式被认识，除非把它按地形对应的方式描绘在神经元镶嵌面上；这一点同时也是针对休林斯·杰克逊（Hughlings Jackson）学派的神经学家提出的，他们非要把图形送交某个专职神经元处理不可，比如说一个专司读取正方形的神经元。信息被传达给那个"小人"（homunculus）——它总是坐在任何对感觉机制的不完全分析之外、又在任何对运动机制的分析之前——所用的那种语言，既不需要、也不太可能按照人们彼此交流所用语言的样式来构造。[17]

麦卡洛克与皮茨的知觉与认知范式既是原子论的，也是多维的：它基于这样一个观念，即为了"知觉"和"理解"，一个生物的或人工的神经网络可以把一个二维流形拆解开来，并把它投射到不同于原初维度的维度配置之上。他们以一种富于远见的方式挑战了格式塔（Gestalt）理论的著名格言："整体异于其各部分之和。"他们试图用另一种纯粹数学性质的多维性来取代格式塔理论的整体论复杂性。[18]

## 青蛙的眼睛告诉青蛙的大脑什么[19]

在 希克森研讨会上，苛勒 是格式塔学派唯一的与会代表。他与会不是为了捍卫某种心灵的神秘力量，而是为了展示视知觉过程中脑活动的物理测量结果，确切地说，是"在模式视觉条件下从人类受试者头部记录下来的电流记录"。20 苛勒 的研究表明，格式塔理论家并不反对寻找知觉的神经关联物；他们只是遵循传统的科学检验方法，而不是控制论者那种类比式思维。正如 海姆斯 也曾指出的：

> 格式塔心理学家并没有向神秘主义、政治反动和活力论投降——这三者都与那种对"整体性"的渴求相关。他们坚持对现象进行经验研究，并寻求描述经验之结构特征的基本规律，即便与此同时，他们也支持大众对原子论和机械论世界分析方式的反对。21[20]

具体而言，苛勒 依据的是力场（force fields）模型——该模型源自物理学，其灵感来源之一是他的挚友 马克斯·普朗克——用以解释发生在眼与脑之间的视知觉现象。[21]

在 希克森研讨会上，作为格式塔知觉之基础的力场（force fields）物理假说，与"大脑即有限状态自动机"的计算类比正面相撞。苛勒 抨击了 麦卡洛克 对大脑的还原论进路，他论证说：当组织学家或神经生理学家观察和测量神经冲动时，它们看起来并不像逻辑命题，而只是像……冲动本身！22 针对控制论把大脑视为"机器装置"的观点，苛勒 提出力场（force fields）理论，以解释在知觉刺激、其神经关联物与更高级的认知官能（例如洞察力这一官能）之间存在的一种形式上的结构连续性（即同构性，isomorphism）：23

> 连续性是视觉场的一个结构特征。同样是一个结构事实的是：在这个场中，被划定边界的特定知觉物作为色块、图形和事物被分离出来。我们已经发现，在这两个特征上，皮层过程的宏观面貌都与视觉经验相似。因此，就此而言，视觉与其皮层关联物是同构的。24[22][23]

与控制论者对"神经关联物类似于逻辑算子"的莽撞热情形成对照，苛勒 对自己的发现持谨慎态度。25 而且，与这个术语可能暗示的相反，格式塔的"同构性"（isomorphism）并不是一个单一僵硬的概念，而是包含了可塑性原则的概念，例如广义上的自组织与自我修复。26 格式塔学派认为，"心灵即有限状态自动机"这一观念，不适于描述心灵通过自组织而进行综合与抽象的这些更高级能力。[24]

在阵营的另一边，最高调、最激烈的反格式塔论者是 诺伯特 维纳，他把整体论称为一个"伪科学的妖怪"。相应地，维纳 论证说："如果一个现象只能作为整体来把握，并且完全无法接受分析，那么就没有适合对它进行任何科学描述的材料；因为整体从来不在我们的支配之中。"27 维纳 在意识形态上毫不犹豫地认同 麦卡洛克 与 皮茨 关于心灵的计算观：[25][26]

> 一个值得注意的事实是：人类心灵与动物神经系统——已知它们能够胜任计算系统的工作——包含着理想地适于充当继电器的元件。这些元件就是所谓的神经元或神经细胞。28[27]

当 1948 年 维纳 出版《控制论》（Cybernetics）——该书首次对数字计算与信息理论作出了总括性陈述——之时，人工神经元的观念与自动化格式塔知觉的计划已经被讨论过了。1951 年，即 希克森研讨会之后数年，苛勒 为 维纳 的书及其中"格式塔与共相"一章写了一篇严厉的书评。他在其中论证说：虽然机器在计算上确实优于人类，但这种计算并不构成思维，更不构成对一个问题的洞察能力（Einsicht）：[28]

> 在人与计算机器的关系中，严格意义上的思维似乎仍是前者的任务。杰出的工程师和数学家把机械强制的运作方式内置于这类仪器之中，这些方式可以作为在事实上可靠的替代物，代替人类心灵的某些量化活动，例如加法和乘法。就速度而言，机器的这些替代性运算远远超过人脑所能达到的任何水平，这并不令人惊讶。然而与此同时，这些运算与一个正在钻研数学问题的人的运作，看起来在类属上是不同的……机器并不"知道"，因为在它们的功能中，没有任何一项可以与对问题之意义的洞察相比拟。29

> 1950 年代中期，神经生理学家 杰罗姆·莱特文 与生物学家 温贝托·马图拉纳 邀请 麦卡洛克 和 皮茨 参与他们关于青蛙眼睛神经元的研究。他们的结论于 1959 年发表在那篇著名论文《青蛙的眼睛告诉青蛙的大脑什么》之中，在许多人看来，这篇论文是钉进格式塔争论棺材的最后一颗钉子。30[29]

他们的研究从一个简单的观察出发：高等动物的视神经所含的纤维比视网膜的要少。这表明，刺激在到达大脑之前必定经历了压缩。由此产生的问题是：在视网膜、视神经与视觉皮层之间，刺激究竟发生了什么？这几位科学家以青蛙为模式生物。他们用电极测量视神经中的刺激，同时向该动物的眼睛呈现高对比度的形状。以这种方式，他们记录了四种神经行为，或曰"运算"："1）持续对比检测；2）净凸性检测；3）移动边缘检测；4）净变暗检测"。31 举例说明，让我们考虑第二种运算——净凸性检测——它也许是最直观易懂的：它关乎对一个在视觉场中游走的小物体（例如一只飞虫）的知觉，这对青蛙的觅食与生存至关重要。正因如此，它被通俗地称为"虫子探测器"：[30]

针对格式塔理论对脑功能之首要性的主张，作者们论证说：眼睛本身就已经在执行认知的基本任务，例如模式识别（pattern recognition），并向大脑发送本身已是良好成形之概念、而不仅仅是知觉物（percepts）的信号。他们主张，眼睛已经在运用"复杂抽象"的语言，而不仅仅是感觉的媒介。他们得出结论说："眼睛以一种已经高度组织化和被解释过的语言对大脑说话，而不是传送某种或多或少精确的、关于感受器上光分布的副本。"32 眼睛发送给大脑的东西，不会是一种类似于知觉物（那将保持格式塔比例）的形式，而是一个语义命题——一段解释知觉物中所呈现之模式的信息。这篇合著文章还整合了 麦卡洛克 与 皮茨 1947 年论文的发现，包括这样一个

观察：一幅图像可以通过依据某种空间逻辑计算其各元素之间的关系而被逻辑地界定并被"知觉"。[31]

> 通过把图像从一个由简单离散点构成的空间，转换到一个全等空间——在其中，每个等价点都由其邻域中特定质的交集来描述——我们随后就能以这些质的组合之分布来给出该图像。简言之，每个点都是在确定的语境中被看到的。这些语境的性质，在遗传上是内置的，就是生理上的先天综合（physiological synthetic a priori）。33[32]

一幅数字图像不仅仅由离散的点构成，还由可被描述为"组合之分布"的空间关系构成。值得注意的是，作者们在这里似乎暗示：构成思维之"生理上的先天综合"的，并非神经网络本身，而是神经网络所计算的那种空间逻辑。[33]

早期人工神经网络的生物形态论（biomorphism）（在此指对生物神经网络的模仿）终究必须受到质疑。麦卡洛克 与 皮茨 最常研究、并将其设想为逻辑算子网络的人体器官，不是大脑而是眼睛；而且，他们的人工神经网络隐含地继承了眼睛的一种特定的行为层级。在 麦卡洛克 与 皮茨 1947 年的文章中，人工神经网络各节点之间的协作，被认为要解决的是视觉场的组合几何学，而不是像他们 1943 年的出版物那样解决三段论的命题逻辑。因此，在格式塔争论中，人们找到的并不是一个有待被机械化的认知模型，而是若干知觉模型，因为以计算术语被表征的，是知觉场的各个元素，而不是心理状态。人工神经网络的发展主要是通过研究眼睛而非大脑的神经元继续推进的：从 Lettvin 的青蛙，到 大卫·休贝尔 与 托斯坦·维塞尔 的猫（它们启发了 AlexNet 之类的卷积神经网络），联结主义（connectionism）AI 的历史都受惠于对动物及其视觉器官的实验。34

从数学的角度看，格式塔争论一方面关乎把一幅图像转换为一个逻辑构造物，另一方面则关乎这样一个事实：人类推理的逻辑构造物可能与图像知觉共享概率性特征。35 从字里行间读来，格式塔争论其实已经指向了一种直到二十一世纪机器学习中才真正浮现的逻辑形式：即一种超越图灵机之线性模态的、信息之空间维度与统计维度的观念。逻辑门与知觉场——分别是控制论与格式塔学派的基本概念——是两个两极对立的理想，AI 的演化最终超越了它们，并把它们综合进越来越抽象的构造物之中：如今，机器学习的内在逻辑被描述为诸如多维向量、潜空间和统计分布之类的实体。此后，视觉矩阵（以及随

之而来的、现代图像学的图像平面）便演化进了这些高级的逻辑形式，演化进了尚待被充分理解的、统计推断的浩繁分支之中。[34]

大脑的语言不是数学的语言[35]

正如认识论学者 David Bates 所指出的，格式塔学派对计算还原论的怀疑，却被美国控制论的一位核心人物所接纳：博学者约翰·冯·诺依曼。冯·诺依曼是曼哈顿计划的关键人物，也是狂热的反共主义者，他在这场争论中扮演了调停者的角色。借此，他实现了格式塔理论与逻辑神经网络的一种综合，并由此为罗森布拉特的统计神经网络构想开辟了地盘。他对生物神经网络的数学分析保持着浓厚兴趣，但既不主张大脑是一台机器，也不主张机器能够完美地模拟大脑。相反，他论证说，考虑到二者单元的数量（大脑中的神经元相对于机器中的开关），人类认知的规模无法与机械计算相比较："人类中枢神经系统中神经细胞的数量估计为 100 亿……而没有人见过拥有 100 亿个单元的开关器官；因此人们比较的将是两个未知对象。"正如我们将会看到的，冯·诺依曼最终没有把大脑还原为计算机——把生物之物还原为逻辑之物——而是设想了居间的模型与实现方式，以便把一个领域转译到另一个领域。

冯·诺依曼同意麦卡洛克与皮茨的观点，即"凡是你能用语词描述的东西，也都可以用神经元方法来实现"，但他不同意"你以这种方式设计的任何电路真的会出现在自然之中"。虽然他对麦卡洛克与皮茨把生物神经元公理化为形式神经元的努力抱有同情，但他同时也同意格式塔学派的看法：形式知觉具有系统性的本性，因而无法轻易地用命题性术语和演绎逻辑加以描述——除非把描述的规模膨胀为冗长啰嗦的代码脚本。正如冯·诺依曼所解释的，算术逻辑在表征世界时带有明显的规模限制：[3637]

> 假设你想描述这样一个事实：当你看到一个三角形时，你意识到它是一个三角形，而且无论它是大是小，你都能意识到这一点。用几何学的方式描述其含义相对简单：三角形是以某种方式排列的三条线段的集合。好吧，这没问题，可是你也会把边是弯曲的东西认作三

角形，把只标出顶点的情形认作三角形，把内部有阴影而外部没有的东西也认作三角形。你可以把许多不同的东西认作三角形，它们全都带有某种三角形的迹象，但你越是试图在描述中加入更多细节，描述就变得越长。至于解释一幅图像、把某种东西置入一幅图像的整套视觉机制，我们所进入的领域，肯定是你无法用那些[逻辑的]术语来描述的。[38]

与麦卡洛克和皮茨相反，冯·诺依曼主张，大脑之所以能够识别任何图像的复杂性，恰恰是因为它的概率逻辑。因此，算术逻辑只是对大脑实际运作的一种简化和逼近，只能部分地把握其特征。由此，冯·诺依曼把算术逻辑定义为一种元语言（"次级语言"或"短码"），它是高效的，却不能有效地完整描述大脑底层的概率语言（"初级语言"或"完整码"）。他还观察到——这一点与苛勒相似——神经系统是借助刺激的统计属性（"完整码"）而非精确标记（"短码"）来说这种初级语言的。[39]

鉴于这种概率动态，冯·诺依曼得出了一个反直觉的结论：在神经系统中，算术精度的"劣化"实际上可能带来"逻辑上的改进"。他特别强调，生物神经网络以一种容错性运作，而这种容错性会让任何确定性的计算机器陷入紊乱。计算机程序中只要出一个错误，整台机器就会停摆。然而，这类错误从不困扰有机体。因此，正是有机体的这种概率本性，使它们具备故障冗余，能够毫不费力地知觉模糊而复杂的图形：

> 自然有机体对错误抱有如此截然不同的态度、在错误发生时表现得如此不同，这一事实很可能与自然有机体的某些其他特性相关联，而这些特性在我们的自动机中完全阙如。自然有机体在高错误发生率之下仍能存活的能力（这是我们的人工自动机所不具备的），很可能要求自动机具有极高的灵活性以及监视自身、重组自身的能力。而这很可能要求各部分具有相当可观的自主性。人类神经系统中的各部分具有高度的自主性。系统各部分的这种自主性产生了一种效应，这种效应在人类神经系统中可以观察到，而在人工自动机中却观察不到。[40]

今天已有共识：生物神经网络不仅在错误、故障与损伤之下照常运作——而且恰恰也得益于它们。控制论者是在当时的认知科学中遭遇这种神经可塑性观念的，尤其是在神经学家卡尔·拉什利（他也曾在希克森研讨会上作报告）与库尔特·戈尔德施泰因（他作为格式塔学派流亡群体的一员移居美国）的工作中。拉什利检验了人为诱发的脑损伤对实验室大鼠记忆的影响，而戈尔德施泰因则研究了一战退伍军人在真实脑创

伤之后重组记忆的能力。然而，提供了更系统的神经可塑性模型的是戈尔德施泰因而非拉什利。他关于大脑在创伤后自我重组能力的理论，也与记忆定位问题的争论密切相关。整体论神经学的先驱康斯坦丁·冯·莫纳科夫（Constantin von Monakow）的一个关键论点是：记忆是分布式的而非定位化的，正因如此，它才能在脑损伤之后得以恢复（见第八章）。冯·诺依曼呼应了这类理论：[41]

> 记忆器官的主要困难在于，它似乎并不特定地位于任何地方。在大脑中定位任何东西从来都不简单，因为大脑具有极强的自我重组能力。即使你已经把某项功能定位在大脑的某个特定部位，一旦你切除该部位，你可能会发现大脑已经重组了自身、重新分配了职责，而该功能又重新得以执行。[42][43]

正是人类大脑中记忆分布式存在的这一观念，启发了机器中记忆的去定位化。神经网络凭借其分布式架构，正是实现这一点的完美候选者。正如罗森布拉特在《神经动力学》（Neurodynamics）中所承认的，冯·诺依曼关于分布式记忆的评论是感知机的一个主要灵感来源（见第九章）。[44]

从长远看，冯·诺依曼采取了一种不同于其他控制论者的探究方法。与当时在工程界同样流行的柏拉图主义和直觉主义相对，冯·诺依曼对语言、逻辑与数学持一种建构主义的视角。他相信这些概念并非固有或天生的，而是历史发展的产物。[45]

> 我们理应认识到，语言在很大程度上是一种历史偶然。基本的人类语言以各种形式经由传统传递给我们，但它们的多样性本身就证明，它们并无任何绝对而必然之处。正如希腊语或梵语这样的语言是历史事实而非绝对的逻辑必然，我们同样有理由假定，逻辑和数学也是类似的历史性的、偶然的表达形式。它们可能存在本质性的变体，也就是说，它们可能以不同于我们所习惯的形式存在。而事实上，中枢神经系统及其所传递的信息系统的本性，正明确地表明情况确实如此。

这种对数学与逻辑的历史相对化，对于理解冯·诺依曼对待心智计算理论以及建造会思考的自动机这一计划的态度至关重要。冯·诺依曼所持的立场比功能主义——即心智的多重可实现性论题，主张同一个智能的运作模型可以在由神经元、继电器、晶体管等构成的不同基底上实现——更为精细。相反，冯·诺依曼倡导一种在人工世界与自然世界之间相互实现的方法，也就是一种建模的方法。当然，冯·诺依曼对把计算机用作研究大脑的模型机器持肯定态度。[46]

即便如此，在其生命的尽头，当他于 1956 年受耶鲁大学之邀主讲西利曼讲座时，他力求毫不含糊地澄清这一点。他的系列讲座《计算机与大脑》以一个宣言式的标题作结："大脑的语言不是数学的语言"。在这一系列讲座中，他承认数学这一"次级语言"在认识大脑的"初级语言"方面具有关键作用。但是，冯·诺依曼——他本人绝非浪漫主义者——并没有重复麦卡洛克、皮茨与维纳的计算主义，而是在最后作出了一个非同寻常的干预：他颠倒了逻辑与自然、计算机与大脑之间的关系，以至于提出，对神经生理学的研究有朝一日可能彻底重塑逻辑本身。在讲座文集的导言中，也就是他 1957 年去世前不久，冯·诺依曼颇有先见之明地写道："我猜想，对神经系统更深入的数学研究[实际上]可能会改变我们看待数学和逻辑本身的方式。"[47]

冯·诺依曼最后的思考，是对任何思想系统与自然及外部世界之间辩证关系的承认。这些思考正视了任何形式化系统的边界，并承认了技术抽象与科学抽象所受的物质约束，包括历史性的约束。这些洞见超越了控制论心态的标准还原论。心智的模型与机器的模型并不需要彼此吻合；它们往往是通过对世界建模来运作，而不是把世界还原为固定的表征。一种承认建模的灵活性与局限性的认识论是值得推荐的——然而，这并不是一种进步的心智哲学的充分条件。事实上，正如我们将在下一章看到的，新自由主义经济学家弗里德里希·哈耶克试图把模型思维变成经济个人主义的一条核心原则。[48]

Von Neumann’s final thoughts were a recognition of the dialectical relation of any system of thought with nature and the external world. They came to terms with the bounds of any system of formalisation and acknowledged the material constraints, including historical ones, of technological and scientific abstractions. These insights surpassed the standard reductionism of the cybernetic mentality. Models of minds and machines do not need to match each other; they often operate through modelling the world rather than reducing it to fixed representations. An epistemology which would acknowledge the flexibility and limitations of modelling is recommended, and yet not a sufficient condition for a progressive philosophy of the mind. As we will see in the next chapter, in fact, the neoliberal economist Friedrich Hayek attempted to turn model thinking into a core principle of economic individualism.

# 8

# 哈耶克与联结主义的认识论

> 于是在我看来，心智成为一股连续的冲动之流，其中每一项贡献的意义，都由它们所流经的通道在全部可用通道之格局中所处的位置决定——而由外部或内部刺激所激发的新到达的传入冲动，只不过是把这股流引向整个流势所倾向移动的任何方向……我喜欢把这股"表征性"神经冲动之流——它在很大程度上反映着中枢神经系统所栖居的那个世界的结构——比作一笔资本存量：它由输入所滋养，并给出一股连续的输出之流——只是幸运的是，这笔资本的存量不会被耗尽。
>
> > 弗里德里希·哈耶克，《25年后的感觉秩序》（'The Sensory Order after 25 Years'）[1977][1]

> 智人的要义就在于模式识别……既是天赋，也是陷阱。
>
> > 威廉·吉布森，《模式识别》（Pattern Recognition），2003年[2]

## 分类器（classifier）登场

为联结主义——或按其后来的名称，人工神经网络范式——提供最系统论述的，不是某位控制论者，而是一位新自由主义经济学家。在1952年的著作《感觉秩序》（The Sensory Order）中，弗里德里希·

哈耶克提出了一种联结主义的心智理论，它已经远比符号主义人工智能的理论先进——而后者的诞生，被人们（多余地）以1956年那场备受尊崇的达特茅斯研讨会为标志加以庆祝。在《感觉秩序》（The Sensory Order）中，哈耶克综合了格式塔原理与沃伦·麦卡洛克和沃尔特·皮茨的神经网络构想，以描述"作为分类工具的神经系统"。他甚至进一步推测可能存在履行类似功能的装置，（用今日机器学习的行话来说）描述了一种分类器算法（classifier algorithm）。1958年，弗兰克·罗森布拉特将感知机（perceptron）——第一个可运作的、用于模式识别的人工神经网络——界定为"联结主义的"，并承认"赫布与哈耶克"的工作对他自己的工作"最具启发性"。唐纳德·赫布是一位神经心理学家，以脑细胞集群理论闻名——那是一种神经可塑性（neuroplasticity）学说，浓缩为第六章所见的格言"一同放电的神经元，连成一线"；而哈耶克则是一位经济学家，他以类似方式研究心智的自组织，却是为了支持一种政治信念：即市场的自发秩序（spontaneous order）。然而，认为哈耶克发明了联结主义的看法是一种简化，它忽视了他对当时的神经学与控制论的亏欠。更恰当的说法或许是：哈耶克窃取了模式识别，并把它改造成一条新自由主义的市场调节原则。[3456]

哈耶克于1920年开始研究他的心智理论，当时他在苏黎世神经病理学家康斯坦丁·冯·莫纳科夫（Constantin Monakow）的实验室担任助手；此后终其职业生涯，他在一长串出版物中持续发展这一理论。他对来自神经生理学、整体论神经学（holistic neurology）、格式塔心理学、系统论、经验批判主义和控制论的观念作出了令人印象深刻的综合——尽管他调动这套认知科学的武器库，目的却是让新自由主义原则显得自然而普遍。一个显著的例子是：哈耶克描述知识在市场中的去中心化的方式，与康斯坦丁·冯·莫纳科夫和库尔特·戈尔德施泰因（Kurt Goldstein）的神经可塑性（neuroplasticity）理论描述认知功能在大脑中的去中心化的方式如出一辙。[78]

正如第六章所见，在1940至1960年代之间，市场自组织理论促进了计算网络自组织理论的发展，反之亦然。然而必须指出，哈耶克的市场自发秩序（spontaneous order）理论乃是一场意识形态政变的一部分。的确，没有什么比处在一个核超级大国势力范围之内的市场秩

序看上去更不自发的了。如前所述，科学技术史家通常强调美国军事资助对控制论与人工智能发展的影响。然而，要使这幅图景完整，还必须承认冷战的另一条战线：新自由主义学说是在回应社会主义计算争论（socialist calculation debate）（详见下文）与凯恩斯主义政策的过程中形成的。正如阿帕网（Arpanet）军事网络（互联网的前身）的去中心化拓扑结构是作为对苏联军事威胁的反应而设计的，哈耶克的联结主义——在诸多刺激因素之中——也是作为对社会主义中央计划与凯恩斯主义的回应而构想出来的。透过这一视角解读哈耶克，不仅有助于阐明经济理性对人工智能早期范式的影响，追踪这些观念在二战后的岁月里如何在心智、市场与机器的模型之间流转，而且有助于记录政治与社会力量在此类模型的制作过程中所施加的影响。正是竞争性的市场网络赋予了哈耶克的神经网络以形态；这些神经网络之所以被抬升为价格计算的技术，是因为——正如哈耶克在本章题词中所坦承的——它们被暗中设想为"一笔由输入所滋养、并给出一股连续输出之流的资本存量"。就此而言，哈耶克的心智理论不过是重商联结主义（mercantile connectionism）的一个变体。[9,10,11,12]

本章旨在（可以这样说）把哈耶克的认识论方案"正立过来"，表明他的联结主义心智理论如何被用来支撑一种特定的（意识形态的）市场观。为此，需要对哈耶克的论证作一个纲要式的重构：从他的经济学范式倒推回他的认知理论。哈耶克试图推进以下几条论证线索：（1）经济问题关乎自由个体的有限知识，这些个体在信息不完全的基础上确立商品的最优价格；（2）知识是通过分类行为——即模式识别——而获得的，也就是那种从看似各异且不完整的知觉中构造范畴的普遍能力；（3）分类经由大脑中联结的自组织——即神经网络——而发生；换言之，知识并非由命题和表征构成，而是由一种联结的拓扑结构来执行，以作出决定（把某物归入某一类，或不归入）；（4）心智是一种由联结构成的动态心智秩序（mental order），它与外部秩序相关但不相同——按此逻辑，知识不是僵硬的表征，而是一个不断自我重组的、关于世界的近似模型。最终，就哈耶克的政治意图而言，联结主义与神经网络提供了一个相对主义范式，用以为新自由主义的"方法论个体主义"（methodological individualism）辩护。[13]

## 市场的去中心化的、默会的理性

1945年，哈耶克以论文《知识在社会中的运用》（'The Use of Knowledge in Society'）介入了著名的社会主义计算争论（socialist calculation debate）。奥地利经济学派的路德维希·冯·米塞斯发起了这场争论，他论证说：由于缺少作为记账单位的商品价格，在社会主义经济的中央集权官僚体制之下，理性的经济计算将是不可能的。而在争论的另一方，恰有奥斯卡·兰格（Oskar Lange）等马克思主义经济学家在质疑货币和劳动时间等计算单位在价格形成中的重要性。哈耶克同意其导师米塞斯的立场，但以不同方式构设了这一反社会主义论证：他声称，经济秩序是一个自发知识的问题，而非数学精确性的问题。哈耶克把商品定价看作一种从默会知识（tacit knowledge）中涌现的自发秩序（spontaneous order）——也就是"一个如何利用那种不以其总体形式交给任何人的知识的问题"。正因如此，无论是中央化的机构还是技术性的计算装置，都无法有效地把握并体现这种知识。哈耶克那段论市场去中心化理性的名言如下：

> 理性经济秩序问题的特殊性质，恰恰是由这一事实决定的：我们必须加以利用的关于种种情势的知识，从不以集中的或整合的形式存在，而只是作为分散的碎片存在——这些知识碎片是不完整的、常常相互矛盾的，为所有彼此分立的个人所各自掌握。因此，社会的经济问题不仅仅是一个如何配置"给定"资源的问题——如果"给定"意指交给某个单一心智、由它来有意识地解决这些"数据"所设定的问题的话。毋宁说，它是一个如何确保最佳地使用社会任一成员所知的资源、以服务于唯有这些个人才知道其相对重要性的目的的问题。或者简言之，它是一个如何利用不以其总体形式交给任何人的知识的问题。[14]

菲利普·米罗夫斯基（Philip Mirowski）与爱德华·尼克-哈（Edward Nik-Khah）自信在此找到了"新自由主义的第一诫：市场存在的目的与其说是配置给定的物质资源，不如说是整合并传播某种被称为知识的东西。"奇妙的是，"知识分布于整个系统之中、而不为任何单一组分以其总体形式所占有"这一观念并非哈耶克的原创，而是衍生自莫纳科夫的大脑功能非定位理论——如上所述，哈耶克曾于1920年在莫纳科夫手下担任助手。莫纳科夫提出假说：认知功能（包括记忆）并不局限于某一特定部位，而是分布于整个大脑。他创造了"失联络"（diaschisis，源自希腊语"整体受震"）一词，用以描述受伤的大脑

如何能通过神经重组恢复认知功能。莫纳科夫的整体论大脑模型（今天会被称作"神经可塑性（neuroplasticity）"模型）由另一位哈耶克阅读并经常引用的作者、格式塔神经学家库尔特·戈尔德施泰因作了进一步系统化。因此，哈耶克关于市场是分布式知识之场所的观念，并非出自对经济现象的研究，而是首先从整体论神经学（holistic neurology）与早期的神经可塑性（neuroplasticity）理论中外推而来。在《感觉秩序》（The Sensory Order）中，哈耶克还援引了神经生理学家卡尔·拉什利（Karl Lashley）关于大脑等势性（equipotentiality）的观念，它与莫纳科夫和戈尔德施泰因的观念颇为相似：[15][16][17]

> 某些心智过程通常以特定纤维中行进的冲动为基础，但在这些纤维被毁坏之后，它们可以通过使用另一些纤维而被重新习得。某些联想可以经由若干可相互替代的联结束而得到有效实现，因此，即使其中任何一条通路被切断，其余通路仍能达成同样的结果。此类效应已被观察到，并以"替代性机能"（vicarious functioning）与"等势性"（equipotentiality）之名得到描述。[18]

正如冯·诺依曼等人所提示的，整体论神经学（holistic neurology）不仅影响了哈耶克关于知识分布于市场的观念，还影响了计算机器中分布式存储的架构。在1961年的著作《神经动力学》（Neurodynamics）中，罗森布拉特也承认，拉什利与冯·诺依曼关于大脑分布式架构的论述，是感知机（perceptron）神经网络的主要灵感来源之一。[19][20]

在其经济学范式中的知识去中心化之外，哈耶克还进行了另一项重要的去中心操作：调动默会知识（tacit knowledge）。哈耶克从吉尔伯特·赖尔1945年的论文《技能性知识与认识性知识》（'Knowing How and Knowing That'）中汲取了极大灵感；该文著名地为技能性知识（know-how）与技艺的地位辩护，以对抗那些号称"更高级"的有意识的、程序性的知识形式。哈耶克写道：[21][22]

> "技能性知识"（know how）就在于按照规则行事的能力——这些规则我们或许能够发现，但为了遵守它们，我们并不必能够把它们陈述出来……因此，我们无法陈述的规则不仅支配着我们的行动。它们还支配着我们的知觉，尤其是我们对他人行动的知觉。不懂语法规则却说话合乎语法的孩子，不仅能理解他人通过遵循语法规则所表达的全部意义的细微差别，或许还能纠正他人言语中的语法错误。[23]

我们所认作有目的的举止，乃是遵循某种规则的举止——我们熟悉这一规则，却不必明确地知道它。同样地，另一个人的靠近是友善的还是敌意的，他是在玩游戏、还是想向我们出售某种商品、抑或意在求爱，我们都能辨认出来，却不知道自己是凭借什么辨认出来的。[24]

当时的整体论神经学（holistic neurology）持有类似立场。譬如，在戈尔德施泰因看来，无意识并非（如其弗洛伊德式的前身那样）驱动意识心智的原始本能之所在，而毋宁是与有意识行为同等重要的抽象行为之所在。按此说法，无意识是一个规则正在生成的空间，是有待完善的、处于胚胎状态的抽象之空间。得益于这些研究，哈耶克得以宣称：无意识行为同样拥有制造习惯、规范与抽象的力量。沿着类似思路，米罗夫斯基与尼克-哈评论道："对哈耶克而言，恰恰是理性在很大程度上是无意识的……在这里，知识不再像熵或仙尘；现在它更像一座巨大的、沉没水中的冰山，十分之九不可见。"这个沉没的理性的类比虽然引人入胜，却并不是对哈耶克立场的准确刻画。哈耶克颠倒了通常的心智拓扑结构：他提出，默会知识（tacit knowledge）不是潜意识的，而毋宁是"超意识的"（supra-conscious）或"元意识的"（meta-conscious）。他强调存在着与有意识规则同样抽象的元意识（meta-conscious）规则：[25][26][27]

> 虽然我们显然常常意识不到某些心智过程——因为它们尚未上升到意识层面，而是在（无论生理上还是心理上）更低的层面上进行——但没有任何理由认为意识层面就应当是最高层面；相反，有许多根据使人相信：过程若要成为有意识的，就必须受一种超意识（supra-conscious）秩序的引导，而这种秩序不可能成为它自身表征的对象。因此，心智事件之所以可能是无意识且不可传达的，既可能因为它们在过低的层面上进行，也可能因为它们在过高的层面上进行。[28]

哈耶克的评估所遗漏的是：这种去中心化的、无意识的理性不仅存在于市场之中，也存在于人类组织与协作的其他形式之中。例如，马克思就把工场与手工工场中的劳动分工认作一种自发而无意识的理性形式。按照马克思的看法，资本并不只是逐个地剥削工人，而是通过被劳动分工与机器所增强的社会协作来实施剥削。正如我们在第四章所见，马克思把劳动分工的力量归于总体工人（Gesamtarbeiter）这一形象，后者不同于各个个别任务的总和；类似地，哈耶克把市场看作一种自发的自组织形式，它超过其个别交换的单纯总和。两者的区别在于：马克思循着查尔斯·巴贝奇的思路，意识到劳动的自发理性可

以被工厂制度和技术创新所捕获；而哈耶克则假定，市场的理性不可能被任何技术性或制度性装置所捕获——即便可能，那也将是反自由的。哈耶克无法预见：在下一个世纪之交，数字网络与大型数据中心将利用控制论者们所讨论的那种人工神经网络，得以实时追踪并计算社会行为与集体理性，从而开启一种在全球范围内高度有效的知识榨取主义（knowledge extractivism）体制。[29]

## 分类的官能；或者，何为模式？

在其整个学术生涯中，哈耶克都把分类界定为心智在与世界互动、并生成新观念（包括对经济学家而言最关键的那些"观念"：商品价格）时的主要官能。麦卡洛克与皮茨在1947年的论文中已经为"听觉与视觉形式的知觉"构想了人工神经网络的理论，但哈耶克1952年的著作《感觉秩序》（The Sensory Order）才是第一部把联结主义与分类当作心智的一般官能加以系统论述的作品。即使在今天，哈耶克对分类的阐述仍不失为理解机器学习中分类器算法（classifier algorithm）定义的一份有效导论：

> 我们在此关注的现象，在心理学中通常以"辨别"（discrimination）为题加以讨论。这个术语多少有些误导，因为它暗示了对其所辨别的事件之间物理差异的某种"识别"，而我们所关注的却是一个创造出这些区分的过程。其他大多数可用的词——如"分拣"、"区分"或"分类"——也是如此。唯一大体上不带误导性内涵的合适术语，似乎是"归组"（grouping）。尽管如此，为了下文讨论的方便，我们仍将采用"分类"（to classify）一词及其相应的名词"类"（classes）与"分类"（classification），并赋予其一种特殊的技术含义……我们所说的"分类"，指的是这样一个过程：某个反复出现的事件每次发生时，都会产生同一特定效果……凡是每次出现都产生同一效果的各种不同事件，都将被称为同一类的事件；而它们中的每一个都产生同一效果这一事实，将是使它们成为同一类成员的唯一判准。[30]

在《感觉秩序》中，紧随上述段落之后的，是哈耶克对机器有可能体现这一分类原理的推测。哈耶克举出了若干模拟机器的例子，这些机器虽然简单，却有助于说明罗森布拉特的感知机之类早期人工神经网络的基本统计逻辑：

> 我们可以设想一台为执行这类简单分类过程而建造的机器。例如，我们可以想象一台机器，它把放入其中的大小不一的小球分配到不同的容器里，从而把它们"分拣"出来……另一种执行这类最简单分类的机器，则可以设想为以类似的方式分拣经由大量

导线或管道中任意一条到达的单个信号。在这里，我们将把经由某一特定导线或管道到达的任何信号视为同一个反复出现的事件，它总会引起机器的同一动作。这台机器对经由某些别的管道或导线到达的信号也会作出同样的反应，而机器以同一方式作出反应的任何这样一组信号，都将被视为同一类的事件。这样一台机器的运作，就像一台简化的电话交换机：若干条进线中的每一条都与（比如说）某个特定的电铃永久相连，于是从这些进线中任何一条传来的任何信号都会使那个电铃响起。凡与同一个电铃相连的所有导线所承载的信号，便都属于同一类。这类机器的一个现实实例，是某些用于分拣卡片的统计机器，卡片上的打孔代表着统计数据。[31]

这一机械类比有助于阐明的是：对哈耶克而言，心智对类（概念、范畴、模式、价格等）的构造，并不只是把看上去相似的知觉与心智事件加以归组。哈耶克主张，人类心智界定类，不仅是通过识别相似性，而且常常是通过建立这种相似性（甚至在任意的要素之间建立）。这意味着，对哈耶克（正如对控制论者们）而言，类的建立与其说是一种抽象的姿态，不如说是一种实用的姿态，颇类似于通过重复而习得某种个人习惯或社会惯例。在哈耶克看来，只要不同的知觉事件在其一切实例中都在神经系统中触发同一效果、或引起同一运动反应——也就是说，同一知觉模式必须产生同一意识观念和/或同一运动模式——它们就被识别为同一类的成员。

在类的概念之内，哈耶克不仅纳入了格式塔与模式这类知觉的和审美的范畴，还纳入了习惯与规范这类伦理的和政治的范畴。格式塔理论对哈耶克影响至深，以至于他的理论框架可以被视为格式塔原理向经济与社会领域的转译。在德语文学与科学中，格式塔（即知觉构型）的概念自十八世纪以来就扮演着核心角色——从歌德到马赫——之后才在格式塔学派的知觉心理学中被奉为正典。正如前一章所见，在1948年的希克森研讨会上，控制论者们质疑格式塔知觉是人类独有的官能，并主张借助麦卡洛克与皮茨的模式识别人工神经网络之类的技术将其机械化。事实上，技术性更强的英文词"模式"（pattern）逐渐取代了德文词 Gestalt——后者正是由逃离纳粹的流亡学者们带到美国的。[32][33]

然而，哈耶克之所以能把类与模式的定义扩展到经济领域，靠的是格式塔理论而非控制论。早在《感觉秩序》中，他就已把对模式的理解扩展到视觉领域之外，从而分别涵盖了"脑内的模式"、"拓扑模式"、"运动的模式"、"时间模式"、"行为的模式"、"运动反应的模式"、"态度或倾向的模式"、"神经冲动的模式"，等等。他为模式概念

发展出了一个庞大的语汇库，其中包括形式、模板、Schablone（型板）、模具、图式、抽象、规范、习惯、倾向、排列、规则与推理。不过，直到《复杂现象论》（1961）哈耶克才开始用"模式识别"这个颇具先见之明的称谓来定义分类。哈耶克最具远见的段落，大概是那些用数学方程描述多维模式的段落（事实上，人工神经网络的方程正是用微分演算计算多维模式的）。例如，他写道：[3435]

> 自然界的许多模式，我们只有在心智把它们构造出来之后才能发现。系统地构造这类新模式是数学的任务。几何学就某些视觉模式而言所扮演的角色，不过是其中最为人熟知的一例。数学的巨大力量在于，它使我们能够描述那些无法被感官知觉到的抽象模式，并陈述具有高度抽象性质的模式层级或模式之类的共同性质。在此意义上，每一个代数方程或方程组都界定了一个模式的类，而当我们为变量代入确定的数值时，这类模式的个别显现便得以特定化。[36]

与其他现代哲学家一样，哈耶克并不区分发明一个类的能力与改变行为的能力：习惯与规范的构成，遵循的正是观念的构成的同一逻辑。哈耶克以这种方式，把构造类与模式的官能扩展到了实践与社会行为：

> 人们之所以对事物采取同样的行为方式，并不是因为这些事物在物理意义上是同一的，而是因为人们已经学会把它们归入同一组，因为人们可以将它们派作同样的用途，或者期待从它们那里得到对相关的人而言等效的结果。[37]

然而，对任何认识论而言，关键并不在于知识本身的定义，而在于发明知识的能力。心智如何发明新观念？哈耶克不仅必须给出分类或模式识别的定义，还必须澄清新的类与模式是如何被制造出来的。在哈耶克看来，人类在日常活动中不断地制造和拆解着类与模式。具体而言，打破人们借以感知现实的那些传统而熟悉的类，并在出人意料的星丛中重构新的类——这应当被视为科学的运作方式（与科学主义和"工程师式的心智"相对立）：[38]

> 科学打破并取代我们的感觉性质所代表的分类系统——这个想法不那么为人熟知，然而这恰恰正是科学所做的事……对我们的感官已经以某种方式分类过的"对象"进行再分类，用一种基于有意识地建立起来的事件类之间关系的新分类，去替换我们的感官据以安排外部刺激的那些"第二"性质——这一过程或许是自然科学程序最具特征性的方面。整部现代科学的历史证明是一个逐步从对外部刺激的先天分类中解放出来的过程，直到这种先天分类最终完全消失。[39]

鉴于其联结主义理论综合了心理学、数学、控制论、社会学与科学哲学，哈耶克确实可以被称为模式识别的经济学家——或者更准确地说，是把模式识别变成新自由主义市场原理的那位经济学家。

## 作为心智模型的神经网络

一组不同的刺激是如何与同一个类相关联的——也就是说，如何被识别为一个反复出现的模式？使分类得以可能的大脑过程是什么？哈耶克的联结主义为知觉与认知之间的关系提供了一种经验性解释。受麦卡洛克与皮茨神经网络思想的影响，哈耶克把认知简化为一个简单的决策行为（而不是像格式塔学派那样诉诸直观，即 Einsicht）。在麦卡洛克与皮茨的模型中，一个由逐级递进的节点层（由多个神经元或开关构成）组成的结构，把大量输入过滤为单个二值输出（单个神经元或开关），由后者决定这组输入刺激是否属于某个给定的类。这个解法相当优雅：一个节点把大量输入计算为一个简单的二值输出，以表示"是"或"否"。正如在监督式机器学习（supervised machine learning）的模态中那样，末端节点是依约定被指派给某个给定的类的（例如指派给"苹果"这个标签）。人们说这个模型不是同构的（isomorphic），意思是它的任何部分都不与它所解释的知识相似：网络中并不存在某个局部化的区域，以可辨认的比例记住（例如）苹果的一般形状。对刺激的正确分类，取决于计算结构的整体行为。
4041

然而，哈耶克的联结主义并不主张一种计算主义的心智理论。把他的理论称为格式塔联结主义（Gestalt connectionism），以区别于麦卡洛克与皮茨的逻辑联结主义（logical connectionism）和罗森布拉特的统计联结主义（statistical connectionism），并无不当。哈耶克主张，心智（在他看来是一种心智秩序（mental order），即由神经元之类的实体自组织而成的网络）只能提供关于世界的一个模型——即一种感觉秩序（sensory order），由感质（qualia）之间的关系构成——而不能提供关于世界的一个表征。哈耶克写道："我们所谓的心智，因此是发生在某个有机体之中的一组事件的特定秩序，它以某种方式与环境中事件的物理秩序相关，却又不与之同一。"1945年，控

制论者阿图罗·罗森布卢斯与诺伯特·维纳曾以类似的措辞界定模型的制造：[42]

> 局部的模型无论多么不完善，都是科学为理解宇宙而发展出的唯一手段。这一陈述并不意味着某种失败主义的态度，而是承认：科学的主要工具是人类心智，而人类心智是有限的。[43]

模型的构造，是把一个给定的环境实现于另一个环境的内部参数与约束之中；然而在这一转译过程中，某些要素会被弥散、近似和扭曲。哈耶克同样承认，心智秩序（mental order）是对实在的一种局部的、常常是错误的解释：

> 我们已经看到，我们的感官所执行的对刺激的分类，将基于一个习得的联结系统，该系统以局部而不完善的方式再现了相应物理刺激之间存在的关系。由此形成的物理世界的"模型"，对那个世界中存在的诸关系只能给出一种高度失真的再现；而我们的感官对这些事件的分类也常常被证明是错误的——也就是说，它会引起不为事件所证实的预期。[44]

耐人寻味的是，继巴贝奇之后，又一位政治经济学家出现在计算史的分水岭上：巴贝奇提出，计算是工业过程中脑力劳动的自动化；而哈耶克则坚持认为，对市场交易的计算是不可能的，而且无论如何都会损害市场自身的自主性。巴贝奇与哈耶克之间的理论差异与历史间距，映照着符号主义人工智能与联结主义人工智能之间的差异，即一种基于表征的认知观念与一种基于建模（modelling）的认知观念之间的差异。巴贝奇那把作为手工计算的脑力劳动加以自动化的计划，展开为图灵机与符号主义人工智能的演绎算法：数值操作变成了符号操作，不给意义的解释与适应的能力留下任何空间。巴贝奇的计算诞生于一种为修正对数表错误而追求精确性的驱力；与此相反，在联结主义（包括其哈耶克式变体）中，人们看到的是一种灵活而具适应性的认识论。继哈耶克与冯·诺依曼之后，罗森布拉特强调，他的感知机神经网络是对人类心智特定特征的简化与夸大，并不声称自己是智能的终极范式。[45]

## 市场作为神经网络的模型

除模式识别理论之外，哈耶克还因先于其名（ante litteram）地使用了信息的技术性定义而获得承认。他1945年的文章《知识在社会中的运用》先于香农1948年的数学通信理论，给出了信息作为通信单元的操作性定义——更准确地说，在此即"价格信号"（price signals）。哈耶克还因把市场描述为一台计算机而受到承认——或者用当时的语言说，描述为某种分布式电报网络，"一种登记变化的机械装置，或一套电信系统"（须注意当时计算机尚非普及技术）：

> 我们必须把价格体系看作这样一种传递信息的机制，才能理解它的真正功能——当然，价格越是僵化，它实现这一功能就越不完善……关于这个体系，最重要的事实是它运作时的知识节约，也就是说，个体参与者只需知道多么少的信息就能采取正确的行动。以缩略的形式，通过某种符号，只有最本质的信息才被传递出去，而且只传递给相关的人。把价格体系描述为一种登记变化的机械装置，或一套电信系统——它使各个生产者只需注视几个指针的移动，就像工程师只需注视几个仪表盘的指针那样，便能调整自己的活动以适应变化，而关于这些变化，他们所知道的可能永远不会超过价格波动所反映的东西——这不只是一个比喻。[46]

与控制论者对全面自动化的狂妄相反，哈耶克断言，市场复杂性的量级将超出任何计算装置的硬件极限与任何可驾驭方程组的范围。二十年后，从社会主义计算争论的另一方，经济学家奥斯卡·兰格（Oskar Lange）反驳说技术创新已经克服了这些限制，并主张用强大的新型计算机来解决经济学的数学问题："那么麻烦在哪里呢？"兰格回应哈耶克道，"让我们把联立方程组放到电子计算机上，不到一秒钟就能得到解。"兰格把计算机理解为一种开启经济学不同视角的新知识工具，因为"计算机履行了一种市场从来无法履行的功能"。兰格是在暗示，计算机可以充当技术中介，调停市场自发性之弊与中央计划之弊。兰格的这一洞见曾被左翼加速主义（left-accelerationism）的修辞所援引，用以泛泛地鼓吹在大数据时代对算法计划的公共使用，以对抗公司对这种计划的私人使用；例如，弗雷德里克·詹姆逊（Fredric Jameson）就主张将沃尔玛、亚马逊这类全球物流巨头的计算能力国有化。但兰格所指的究竟是哪一种具体的计算技术？他论证中常被忽略的下面这一部分，提到的并非确定性计算，而是某种与人工神经网络的训练过程颇为相似的东西：[47][48][49]

> 我在文章中提出的市场机制与试错程序，实际上扮演了求解联立方程组的计算装置的角色。解是通过一个被假定为收敛的迭代过程找到的。这些迭代基于一种反馈原

理，其运作方式是逐步消除对均衡的偏离。设想中，这个过程会像一个伺服机构那样运作，通过反馈作用自动消除扰动……同一过程可以由一台电子模拟机来实现，它模拟市场机制的摸索调整（tátonnements）〔即递增逼近（incremental approximation）〕所蕴含的迭代过程。这样一台电子模拟装置（伺服机构）模拟着市场的运作。然而这个陈述也可以反过来说：市场模拟着电子模拟计算机。换言之，市场可以被看作一台自成一类（sui generis）的计算机，用来求解联立方程组。它像一台模拟机那样运作：一个基于反馈原理的伺服机构。市场可以被看作求解联立方程最古老的历史装置之一。有趣之处在于，这一求解机制不是经由物理过程、而是经由社会过程运作的。事实证明，社会过程同样可以充当反馈装置运作的基础，通过迭代求得方程的解。[50]

沿着哈耶克联结主义的传统，兰格把市场描述为一台以递增逼近（incremental approximation）〔摸索调整（tátonnements）〕求解联立方程的社会机器，其方式类似于一个通过试错调整来改变自身参数的学习算法。兰格用逼近技术求解市场方程的例子，与其说呼应了中央集权的社会主义经济，不如说呼应了今天人工神经网络的训练算法（例如反向传播和梯度下降等）。正如哈耶克与兰格的这两段文字所显示的，在二十世纪的经济学争论中，市场模型与计算模型有时会互换位置，但真正的关键始终是底层社会过程的能动性与自主性。

## 迈向神经网络的政治认识论

哈耶克自白说，他把联结主义的心智设想为与市场持续交换的一笔资本存量——在 AI 时代，这一自白似乎印证了马克思主义学者阿尔弗雷德·索恩-雷特尔（Alfred Sohn-Rethel）那诱人的"实在抽象"（real abstraction）理论。在 1970 年的《脑力劳动与体力劳动》（Intellectual and Manual Labour）一书中，索恩-雷特尔勾勒了一种"认识论批判"，把商品形式设定为抽象思维本身的起源。索恩-雷特尔认为，古代以货币为中介的商品交换，乃是哲学这类抽象思想的最初实例，因为货币和哲学一样，在物质事物之间确立了一条抽象等价原则。对索恩-雷特尔来说，一件与另一件相交换的商品，是"实在抽象"（real abstraction）的典范例子——即一种借助于物而表达出来的抽象。即便交换行为是无意识的，这种情况也照样发生（在这一点上，马克思和哈耶克都会同意）。这样一来，市场交换的抽象就先于并影响了哲学与科学的"有意识"抽象的演化。

索恩-雷特尔确信，哲学与分析数学的一般观念，是在最早的铸币（以琥珀金〔elektron〕制成，这是一种小亚细亚盛产的金银天然合金）开始在古希腊诸殖民地作为稳定的一般等价物流通之时历史地出现的。按照他的叙事，一旦货币从僭主的控制中解放出来，其数字形式便激发哲学成为第一种世俗的抽象形式（宗教和神话则是早已运作的抽象建制）。在琥珀金（elektron）铸币进入流通并推动商业繁荣之后几代人，希腊诸殖民地见证了西方经典哲学家的第一代人，包括泰勒斯、阿那克西曼德和阿那克西美尼。索恩-雷特尔认为，前苏格拉底哲学家典型的同一性、实体、可分性、无限性等概念，映照的正是在商业的新金属媒介中必须被测量的那些属性。不过在他看来，世俗思维是作为对货币给希腊社会带来的弊病的一种有意识的、批判性的反应而诞生的。[51]

把符号形式的起源仅仅还原为货币这一一般等价物，很容易滑向宿命论式的解读——仿佛资本主义对心智秩序的恶性影响无处不在，以至于在资本逻辑之外进行思考即便并非不可能，也将变得极其困难。在解释概念工具的产生时，索恩-雷特尔只强调了流通领域（商业交换）的影响，从而把生产领域（社会分工）最小化了。他因此忽视了劳动经由工具与语言进行反思的活动——按照其他唯物主义认识论（包括让·皮亚杰与彼得·达默罗〔Peter Damerow〕的认识论），正是这种活动早在商业交换出现之前很久，就已产生出数学抽象。换言之，社会分工的实在抽象（real abstraction）先于货币交换与雇佣劳动的实在抽象（real abstraction）：在货币尚未流通、但劳动分工尤其是奴隶制得到强制推行的社会里，抽象思想已经存在。哈耶克会安然接受把哲学学科视为市场抽象的镜像，而全然不提劳动与工具制作的潜在自主性。那么，如果哈耶克精致的联结主义只不过是"市场理性"的一个升华版本，一种不再回响着新自由主义心智的、别样的神经网络认识论，会是什么样子？[52]

在《大纲》（Grundrisse）中，马克思对黑格尔的认识论提出了一种批判，而这一批判同样可以延伸到哈耶克的商业认识论（mercantile epistemology）。在该书导言（写于1857年，早于《资本论》十年）中，马克思把抽象观念与具体观念的辩证法描述为"政治经济学的方法"，以此综合了德国唯心主义与英国政治经济学。正如黑

格尔本人在《精神现象学》中所提议的那样质疑日常语言的既定范畴，马克思强调，像"劳动"这样一个熟悉的用语，乃是不同抽象长期组合的结果，而非反思应当由之出发的简单而原初的概念。按照马克思，"科学上正确的方法"是先把表象（Vorstellung）分解为更简单的概念（Begriff），再从这些简单概念出发重新组合出整体，"作为一个具有许多规定和关系的丰富的总体"。哈耶克把科学方法描述为对感知现实所凭借的抽象（类、模式等）的制作与拆解，这看起来与马克思的描述并无二致，尽管二人的政治引申显然分道扬镳。观念的创造，在哈耶克那里是一件主观事务、一种个人自由的操练；而在马克思那里，它受生产的社会关系影响，且往往与资本的逻辑有机相连。马克思举了劳动的例子：劳动看似一个古老、熟悉而简单的范畴，现代资本主义却把它变成了一种抽象。事实上，按照马克思，工业资本主义正是经由"抽象劳动"（abstract labour）的强加而兴起的——即对"具体劳动"（concrete labour）的特殊性漠不关心的劳动，被转化为商品的劳动，被转化为任何工人都能从事的劳动一般等价物的劳动。与前工业时代的具体劳动（concrete labour）不同，抽象劳动（abstract labour）以抽象的时间单位来计量，工人则按这些单位的比例获得报酬。历史地看，现代意义上的工人阶级，正是经由工业时代抽象劳动（abstract labour）这一一般等价物的强加，才被构造为一个新的政治主体。[53][54][55][56][57]

与哈耶克不同，马克思质询了经济思想诸范畴的政治谱系。在他看来，思想的范畴——尤其是劳动这一范畴——并不中立，毋宁说是内在于资本主义逻辑的。它们因此参与了对社会的某种规范化、控制与剥削。然而，除非沉溺于政治宿命论，人们必须承认：抽象的能力从来不曾是权力的独占属性。要对抗资本主义意义上的抽象劳动（abstract labour），就应当看到，抽象的能力属于人类心智与世界、与工具和技术的辩证关系，而不只属于某个主权装置——无论它是否资本主义的。正如政治哲学家迈克尔·哈特（Michael Hardt）与安东尼奥·奈格里（Antonio Negri）中肯地指出的："抽象对于资本的运转及对资本的批判都是本质性的。"任何抽象、任何分类，都是社会分工的结果，是那些生成知识的矛盾与冲突的结果。同样，哈耶克的神经网络，以及一般而言的人工神经网络，仍然是抽象劳动（abstract labour）之社会分工的一种延伸。[58]

# 9

> 我们在研制感知机上的成功意味着，一个非生物的物体将首次能够以有意义的方式实现对其外部环境的组织……我的同事[马歇尔·约维茨（Marshall Yovits）]不赞成如今人们关于机械大脑的种种轻率言论。他更愿意把我们的机器称作一个自组织系统；不过，私下里说，任何大脑恰恰就是这样一种东西。

---

> 弗兰克·罗森布拉特（Frank Rosenblatt），《纽约客》访谈，1958 年 12 月 6 日 1

> 随着所考察的系统日趋复杂，实验的作用变得愈发重要；与此同时，单凭纯粹逻辑推理所能达到的成果，则愈发不足以完整理解系统的运行表现。但这并不意味着主张放弃理论分析；毋宁说，本着伽利略的精神，理论必须时刻与实验相互对照，而正是从理论与实验的交互之中，才会产生关于后续应采取哪些恰当步骤的知识。[1]

> 弗兰克·罗森布拉特，《研究神经网络的分析技术》（'Analytic Techniques for the Study of Neural Nets'），1964 年 2

> 故障即默认状态，然而仪器照常运转。科学论（science studies）的一条原则是：分歧具有启发性，而非病态；共识并非必然，而是有待解释之物。仪器的正常运作同样需要与此相当的分析。于是，"大问题"就在于：人们如何判定仪器正在正常工作，乃至判定它们究竟是什么。[2]

> 西蒙·沙弗（Simon Schaffer），《易碎之物》（'Easily Cracked'），2011 年 3

"以有意义的方式组织外部环境"[3]

1958年，即达特茅斯人工智能研讨会两年之后，《纽约时报》以醒目的大标题报道了一项新的"思维机器"计划：人工神经网络"感知机"。其发明者、心理学家弗兰克·罗森布拉特（Frank Rosenblatt，当时年仅三十岁）与其资助方、美国海军研究办公室的马歇尔·约维茨（Marshall Yovits），正需要良好的媒体报道来为纳税人资金的支出正名。为称颂这项发明，该报以近乎漫画的笔调写道："海军披露了一台电子计算机的雏形……预计它将能行走、说话、看、书写、自我复制，并意识到自身的存在。"这是为军方奏响的号角，然而文章中的某些夸张之词却预言了深度神经网络日后令人不安的成就。例如，这篇文章对半个世纪后才出现的人脸识别与自然语言处理有着怪异的先见之明："以后的感知机将能够认出人并叫出他们的名字，并把一种语言的语音即时翻译为另一种语言的语音或文字。"

同年，《纽约客》刊出了较为冷静的报道——一篇对罗森布拉特的访谈。他在其中澄清：感知机并非炒作所称的"机械大脑"，而是一台自组织机器，同样能够"以有意义的方式组织其外部环境"。该杂志转述了赫布式的神经可塑性原理（"一起放电的神经元，连接在一起"），就当时而言，它对人工神经网络的工作原理给出了准确的描述：[45]

　　感知机的独特之处在于它与环境互动，形成并非由人类代理者事先为它准备好的概念。生物学家宣称只有生物系统才能看、感觉和思考，但感知机的行为就仿佛它在看、在感觉、在思考。计算机和感知机都有所谓的记忆；然而在后者那里，记忆并不是刻意挑选和积累起来的事实的单纯仓库，而是一个自由的、非确定的联想单元区域，它

把一个感觉输入端（即"眼睛"）以尽可能接近随机的方式与数量极大的响应单元连接起来。

如果把一个三角形举到感知机的眼睛前，与眼睛相连的联想单元便拾取三角形的图像，并沿着一条随机接续的线路把它传送到响应单元，图像在那里被登记下来。下一次再把三角形举到眼前时，其图像将沿着先前图像已经走过的路径行进。重要的是，一旦某一特定响应被确立，通向该响应的所有连接都会得到强化；而且，如果把一个尺寸和形状不同的三角形举到感知机面前，其图像将沿着第一个三角形所走的轨道传递。

感知机是何种人工神经网络？罗森布拉特很难用简单的语言解释感知机的工作原理，后来还抱怨媒体炒作损害了"科学信誉"。在纽约州布法罗的康奈尔航空实验室，该项目的立案名称是"PARA计划：感知与识别自动机"（Project PARA: Perceiving and Recognising Automaton）。作为项目主要资助者的海军，本质上感兴趣的是目标分类的自动化，例如通过雷达、声呐或视觉数据侦察敌方舰船（图9.1与图9.2）。罗森布拉特还计划在光感知机（photoperceptron）之外，设计一整类以同样逻辑运作的装置，其中包括声感知机（phonoperceptron，用于识别音频通信中的词语）和无线电感知机（radioperceptron，用于识别雷达与声呐信号中的物体）。严格从技术上说，感知机是一个用于模式识别的统计神经网络——也就是说，如前几章简要提到的，它是一个以二元方式对刺激进行分类的自组织计算网络。[6]

图9.1 目标分类示例。Albert Murray, 'Perceptron Applications in Photo Interpretation', Photogrammetric Engineering 27, no. 4 (1961): 633。[7]figs. 9.19.2[8][9]

A. AERIAL PHOTO OF SHIP IN SPECULAR SEA CLUTTER

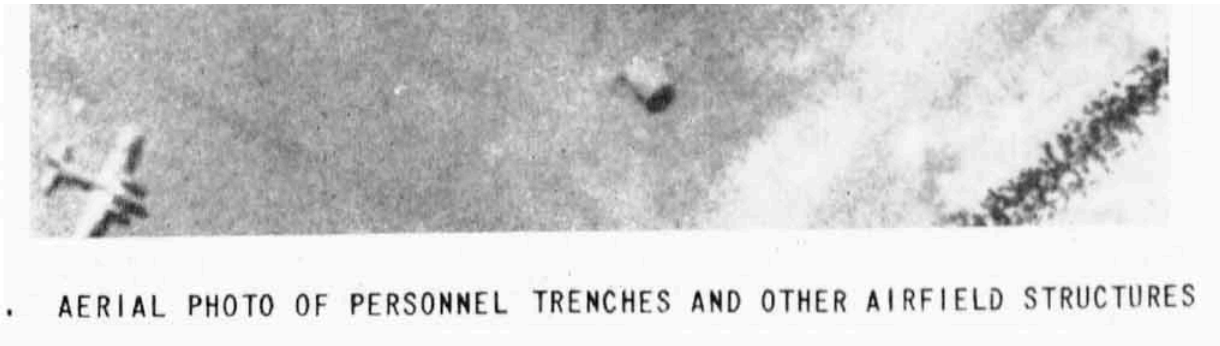
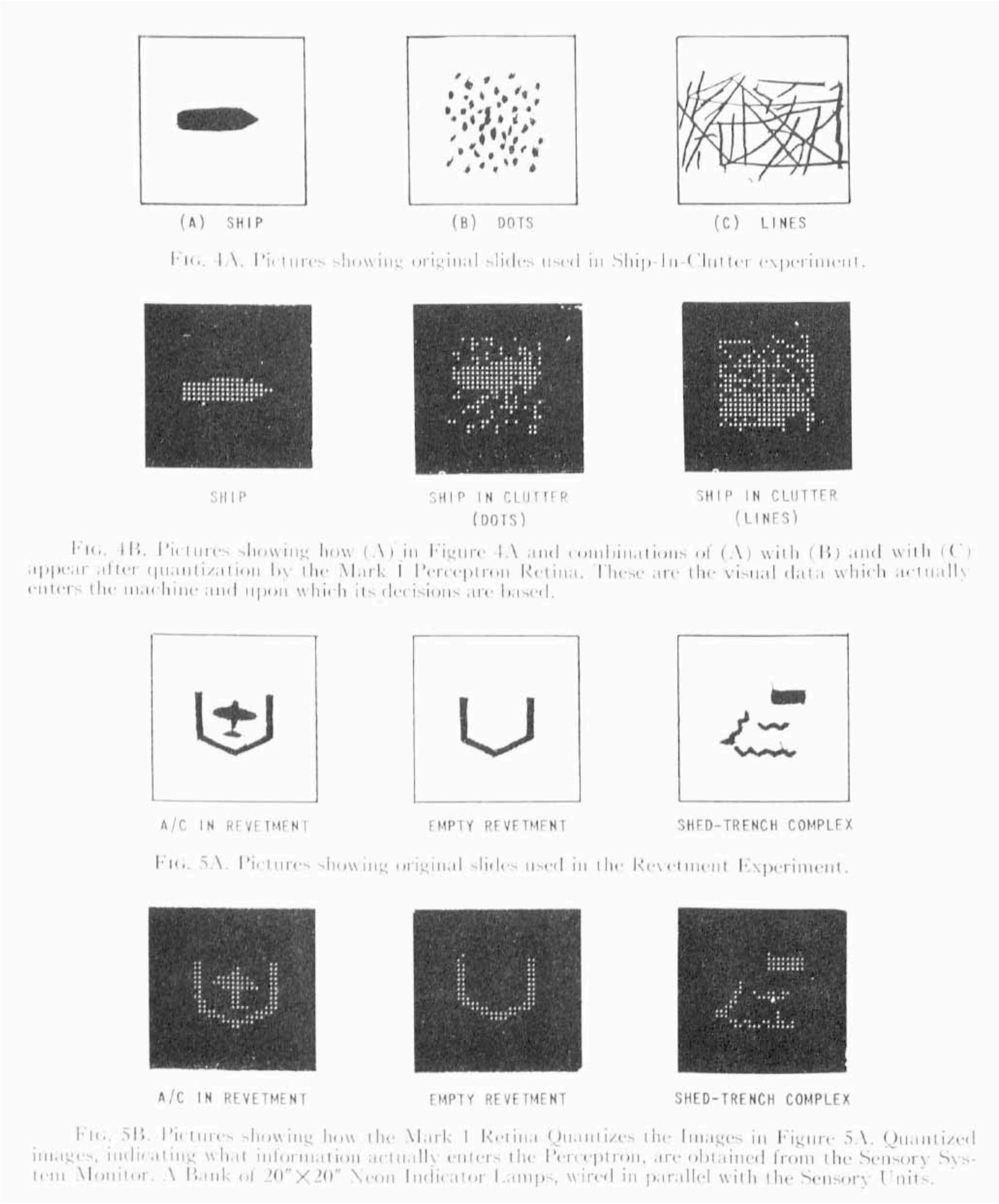



图9.2 目标分类示例。Albert Murray, 'Perceptron Applications in Photo Interpretation', Photogrammetric Engineering 27, no. 4 (1961): 634。

感知机的首次实现是一个用SHARE编程语言写成的计算机模

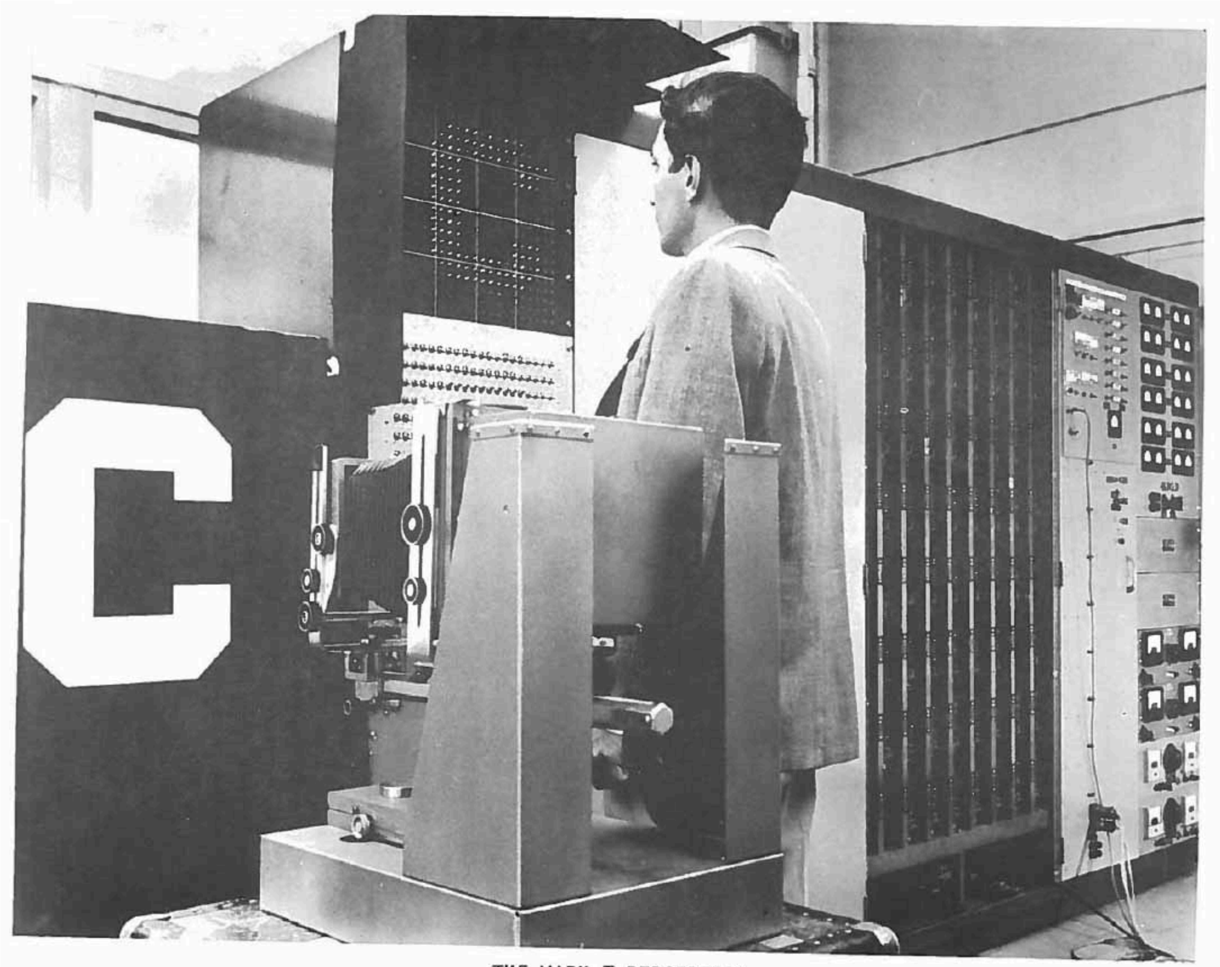



Mark I 感知机

感知机的首次实现是一个用SHARE编程语言写成的计算机模拟，于1957年运行在最早的商用大型机之一IBM 704上。在最

初的测试中，研究者向计算机输入一系列打孔卡（punched card），据称经过五十次试验后，它"自己学会了区分左侧作标记的卡片与右侧作标记的卡片"。罗森布拉特认为这证明：可以设计架构更复杂的感知机来识别更复杂的模式。《纽约时报》那篇文章发表后不久，这一想法化为一台笨重的硬件，直到1960年才建成：这就是传奇性的Mark I 感知机，如今安放于华盛顿特区的史密森尼美国国家历史博物馆（见图9.3）。Mark I 正是约翰·冯·诺依曼在1940年代为曼哈顿计划进行计算所使用的那台数字计算机；不过，在此次实现中，它被感知机的模拟模块所扩展。尽管它比IBM 704慢一千倍，但这一硬件一软件混合体允许程序员用手为网络重新接线，这比重写程序更快。操作手册如此描述它：

图 9.3 Mark I 感知机。来源：Frank Rosenblatt, Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms, Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1961, iii。[10]fig. 9.3



THE MARK I PERCEPTRON

Mark I 感知机是一台模式学习与识别装置。它能学会依据某些几何上的相似与差异，把平面图案分成若干组。它在辨别与概括时可以利用的属性包括：在视网膜视场中的位置、几何形状、出现频率以及大小。如果在诸多可能的分类依据中想要某一特定依据，通常可以通过一次强制学习环节或一个纠错训练过程，把该依据传递给感知机。而如果任其自行其是，感知机仍然能够按照它自己形成的分类依据，把呈现给它的图案划分成类。这一形成过程通常被称为自发学习（spontaneous learning）。

Mark I 感知机实现了一个简单的神经网络，由依次连接的三层单元构成："感觉单元即S单元、联想单元即A单元、响应单元即R单元"（见图9.4）。输入层（也称"视网膜"）是一台20×20像素的相机，总共有400个光感受器。这些感觉单元以固定的权重、随机地或按拓扑方式连接到由512个联想单元组成的一层。联想单元本身又连接到八个响应单元（R单元，即输出），其权重可以自动调整（这些"权重"是模拟电位器，也可以用手控制）。与沃伦·麦卡洛克（Warren McCulloch）和沃尔特·皮茨（Walter Pitts）的人工神经元一样，联想单元和响应单元依照一个阈值运作：它们把各自的输入值加总，只有当总和超过给定阈值时才放电（见图9.5）。操作手册把它描述为赫布规则的某种实现，但这或许是一种过于慷慨的解读：[11]

然而，A单元与其他单元的不同之处在于：当它们确实开启时，它们向R单元传递的兴奋具有一个数值，该数值取决于这个A单元过去在促成其R单元开启方面所取得的相对成功程度。这些数值构成了感知机的记忆。fig. 9.4[12][13]fig. 9.5[14]

图9.4 Mark I 感知机的组织结构图（未显示反馈回路）。Frank Rosenblatt, Mark I Perceptron Operators' Manual. Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1960。[15]

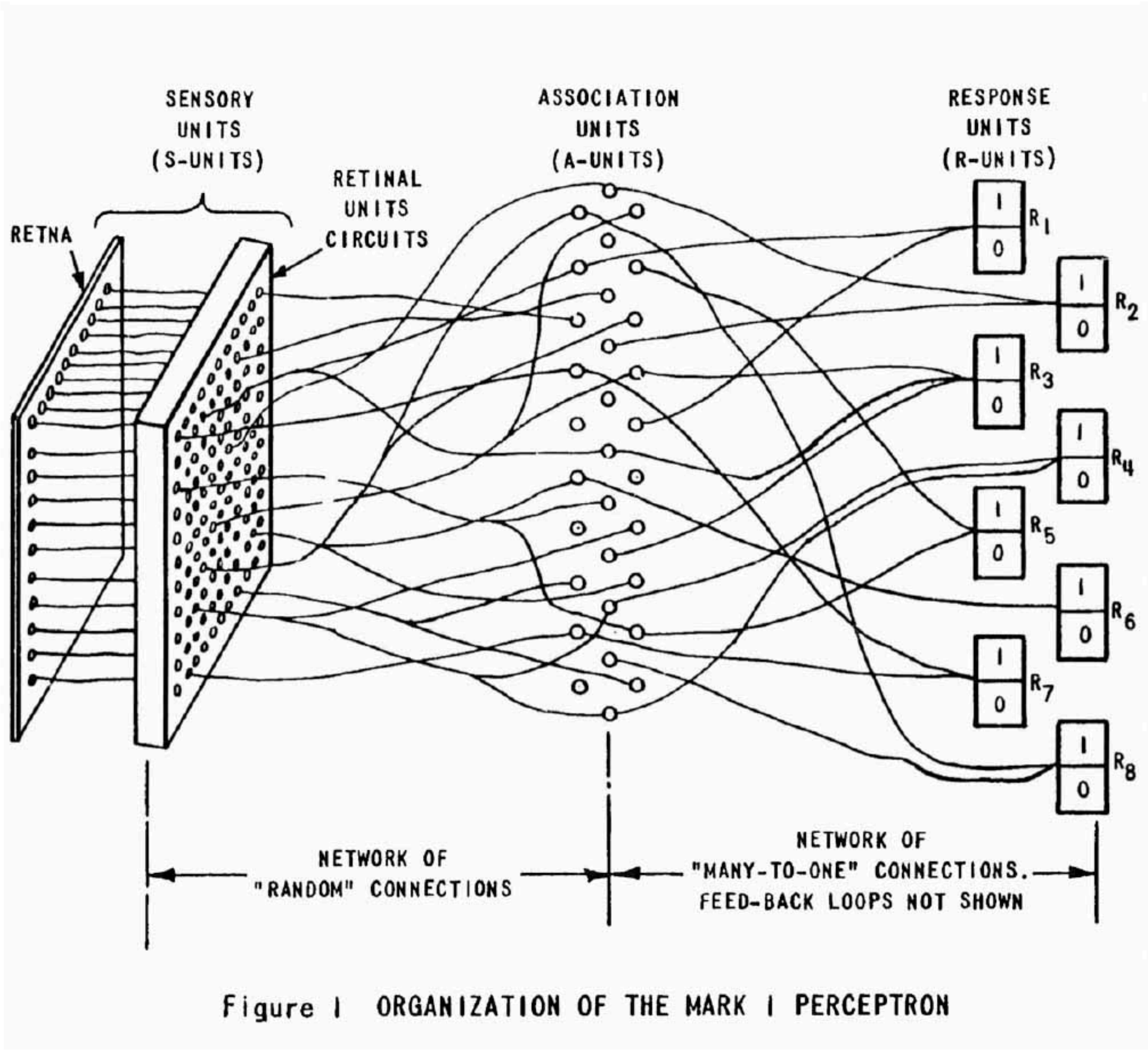


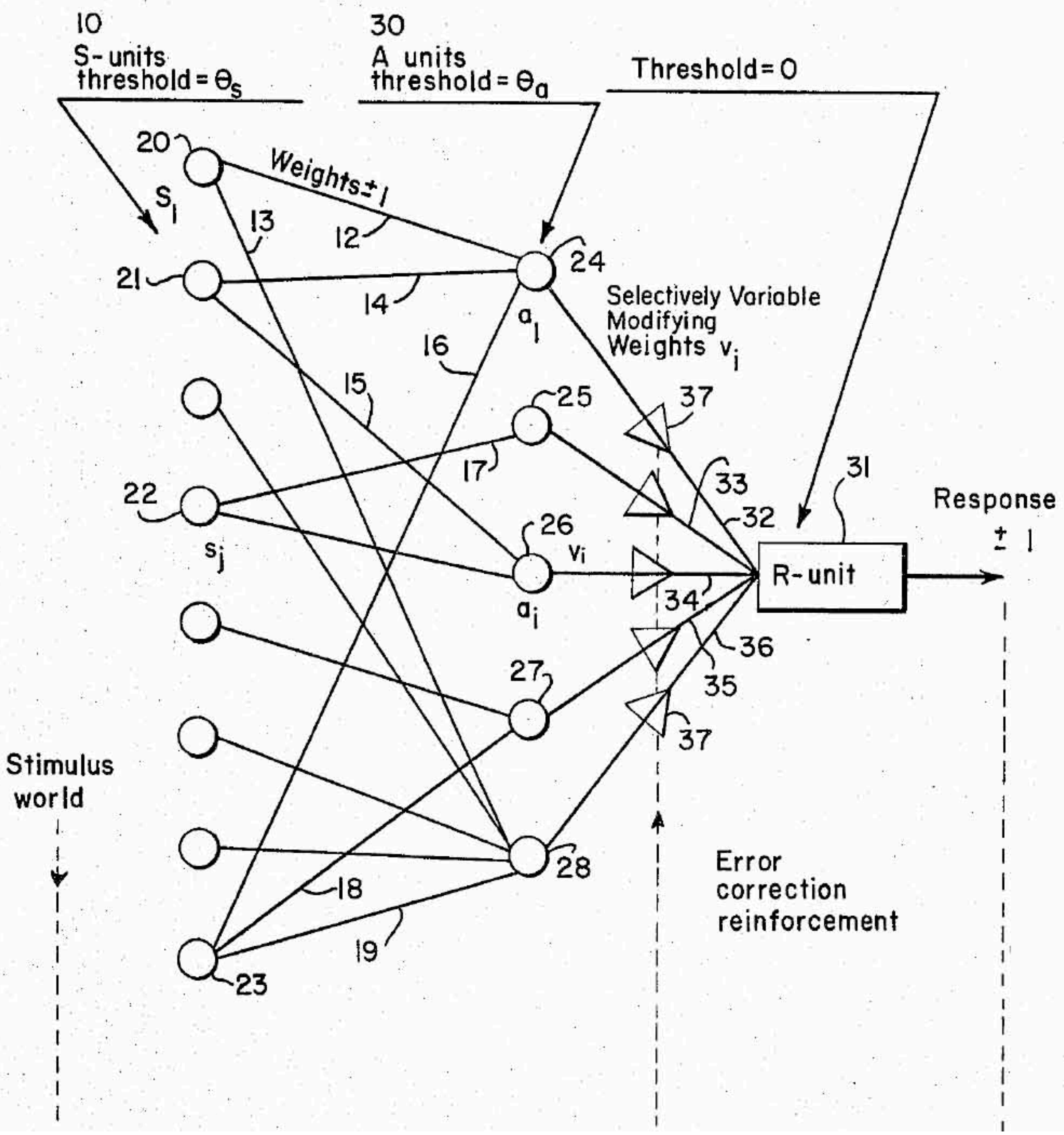

图9.5 罗森布拉特在美国专利US3287649A中绘制的简单感知机草图。该专利于1963年提交，1966年获批，并在二十年后的1983年到期。

Nov. 22, 1966 F. ROSENBLATT 3,287,649

AUDIO SIGNAL PATTERN PERCEPTION DEVICE

Filed Sept. 9, 1963 4 Sheets-Sheet 1

FIG. 1



在这团错综复杂的线路中，只需记住一点：可供训练的参数是连接A单元与R单元的那些电位器。总计512×8=4096个参数。确切地说，Mark I 感知机是在并行运行八个简单感知机，每一个对应一个待识别的特定模式。给定20×20像素的视网膜，每个简单感知机有400个参数。无论如何，就算法复杂性而言，要以当时的资源通过递增逼近来计算，这已经是一个庞大的变量数目。今天，为了说明复杂性尺度的差异：只需三行Python代码，就能在一台台式计算机上运行感知机算法；而像GPT4这样的大模型则包含大约一万亿个参数（其训练与部署需要一个大型数据中心）。

初始连接与权重的随机性对罗森布拉特至关重要，因为他要以此证明：即便从混沌状态初始化，感知机也展现出自组织的能力。罗森布拉特对感知机的计算效能十分振奋，他评论道："很清楚，与人脑的$10^{10}$个神经细胞相比，感知机以少得惊人的单元数目，就能够进行高度复杂的活动。"感知机的架构可以变化，采取具有更多层与功能的不同配置。在罗森布拉特的论文中已经很清楚：猜测计算网络的最优配置本身就是一门手艺，构成实验实践的一部分。

为感知机猜出一个好的架构只是问题的一半；另一半是设计一种训练算法与纠错技术，以求出由网络连接所表达的参数的最优值。训练程序基于这样一个假定：如果分类问题存在解（即这组图像能够被线性地分为两组），那么参数将在有限步骤内收敛到最优值。训练感知机的一个主要算法是如下逐步逼近的程序，它基本上就是微分学技术的自动化版本：[16]

1. 从一个具有随机权重的感知机和一个训练集开始。[17]

1. 2. 对训练集中某一样例的输入，计算感知机的输出。
2. 3. 如果感知机的输出与该样例已知的正确输出不符：
3. a. 如果输出本应为0却是1，就减小那些输入为1的权重。
   a. b. 如果输出本应为1却是0，就增大那些输入为1的权重。
   b. 4. 转到训练集中的下一个样例，重复步骤2–4，直到感知机不再出错。
4. 今天的深度学习使用更精细的算法（例如梯度下降（gradient descent）），但试错原则依然如故：（1）向神经网络呈现一幅图像；（2）检查输出是否正确；（3）如果不正确，就把参数增大或减小一个小量；（4）重复这一程序，直到神经网络计算出正确的输出。问题依然在于：找到能以最少步骤收敛到最终结果的最高效程序。训练算法的设计是又一层次的抽象与问题求解，它有别于神经网络的结构本身。依此观之，许多人至今仍称之为"人工智能"的东西，只不过是一种数学优化技术。这仍然是一种暴力式逼近，而且在拥有数万亿参数的大模型中，其逻辑变得更加"暴力"。归根结底，值得注意的是：在最先进的"人工智能"技术

的核心，人们发现的逼近程序，与自古以来构成微积分的那些程序并无不同（见第一章）。[18]

Mark I 感知机究竟能做什么？就模式识别而言，能做的不多。它能够区分视场左侧的黑色方块与右侧的黑色方块；而且，如果简单字母对齐在其20×20视觉矩阵的中心，它也能加以区分。它的模式识别能力（正如马文·明斯基（Marvin Minsky）和西摩·帕珀特（Seymour Papert）在其著名批评中所证明的，下文将作说明）是原始的，并且局限于连续图形。罗森布拉特及其团队清楚它的局限，但他们推测：具有更多层的架构（深度学习最终证明了这一点）能够执行更复杂的识别任务：

有理由期待，一台类似感知机、逻辑深度为三或更多的机器（通过两层或更多层A单元获得，其中每一层为下一层提供兴奋输入），将比感知机更为强大。

应当指出，早在1958年，罗森布拉特就已设想了类似于滤波器的空间约束，而这类滤波器正是深度学习源头处卷积神经网络（convolution neural network）构想的基础。具体而言，他在《神经动力学》（Neurodynamics）中提到了大卫·休伯尔（David Hubel）与托斯滕·维泽尔（Torsten Wiesel）对猫皮层的研究及其拓扑约束，这些研究后来启发了福岛邦彦（Kunihiko Fukushima）的"新认知机"（neocognitron）神经网络（1980年）、扬·勒昆（Yann LeCun）名为"LeNet"的架构（1989年），以及最终的AlexNet（2012年）。[19]

罗森布拉特也意识到统计神经网络在模仿人类智能方面的逻辑限度，他写道："仅凭统计可分性（statistical separability），并不能为更高阶的抽象提供充分基础。在这一点上，似乎需要某种在原理上比感知机更先进的系统。"时至今日，由于缺乏一套完整的统计学习理论，人工神经网络与深度学习仍然停留在实验的认识论阶段。换言之，它们是潜能未知、失灵不可预测的机器。[20][21]

脑模型与实验方法[22]

简单感知机并不是第一个人工神经网络，而是第一个具有适应性的人工神经网络——也就是说，它不仅能够识别模式，而且能够学习如何识别模式（并且可以被重新接线为不同的配置，以便以*不同的方式*学习）。尽管其成就还很原始，它仍然被

视为第一个分类器算法（classifier algorithm）。如前所述，这种神经网络架构当时已为人所知：为了证明大脑神经元的自组织与适应能力，罗森布拉特有意让感知机以随机值启动。随后，罗森布拉特应用一种纠错算法逐步调整这些值，使其与外部数据收敛到最优平衡，从而把"智能"实现为一种从混沌中涌现的自发秩序。

围绕神经网络与自组织理论（见第六章）的热潮，最初在"人工智能界"（artificial intelligentsia）中引起了反感与嫉妒，尤其是在为同一批军方经费而竞争的符号主义人工智能圈子里。为了回应这种负面反应，罗森布拉特于 1961 年着手把自己的研究系统化为篇幅浩繁的专著《神经动力学原理》（Principles of Neurodynamics）；这部书虽然很少被研究，却仍是理解人工神经网络起源的最佳文献。不过，1964 年的一篇文章《神经网络研究的分析技术》（'Analytic Techniques for the Study of Neural Nets'）更好地展示了罗森布拉特的研究视角。在这篇较晚的文本中，为了捍卫人工神经网络的实验性质，罗森布拉特以论战姿态调用伽利略的方法来对抗亚里士多德的方法——因为在他看来，后者仍在其他脑模型研究中被沿用。例如，符号主义人工智能的理论家们相信，可以不经实验检验、直截了当地把心智的规则编码为机器的规则：

> 在亚里士多德之后的两千年里，人们相信自然的根本真理可以通过纯粹理性的运用而被揭示，相信是哲学家而非实验者，能凭借其智力的纯粹力量洞察自然的必然秩序……随后，在十七世纪初，伽利略《关于两门新科学的对话》的出版，第一次为实验方法的学说发出了声音。伽利略的工作倡导了一条与亚里士多德理性主义判然有别的道路，开启了物理科学中一个至今尚未止息的科学增长与发现的时期……这些结果或许碰巧在工程领域有所应用，但就当前的目的而言，我们打算不作为发明者、而作为发现者来工作，而通向科学发现的那种理论化，很可能与对工程综合有用的那种理论化大不相同。[23]

罗森布拉特自命为"发现者"而非"发明者"的方式可以被视为天真，但这在某种程度上是对实验方法与科学方法的辩护，以对抗许多控制论者的"工程师心态"。罗森布拉特所宣扬的人工神经网络研究的实验文化，尤其针对的是符号主义人工智能那种自我证

成的逻辑。类似地，在《神经动力学》的导言中，罗森布拉特呼应麦卡洛克的"实验认识论"（experimental epistemology）方法，断言：[24]

> 感知机首先并且首要地是一个脑模型，而不是一项用于模式识别的发明。作为脑模型，其效用在于使我们能够确定各种心理属性得以涌现的物理条件。它绝不是一个"完备的"模型，我们完全清楚它相对于生物系统所做的种种简化；但它至少是一个可分析的模型。

对罗森布拉特而言，站在脑科学家而非计算机工程师一边，是一种主张感知机作为*实验模型*具有尝试性、局部性和不完备性的方式。与哈耶克类似，罗森布拉特坚持认为，脑的模型始终是一种实现，也就是对其某些特征的简化与夸大。正如他所解释的：[25]

> 感知机并不打算充当任何实际神经系统的精细复制品。它们是简化的网络，其设计目的是允许人们研究神经网络的组织、其环境的组织，以及该网络所能达成的"心理"表现三者之间的规律性关系。感知机或许实际上对应于生物系统中更庞大网络的某些部分……更可能的是，它们代表了对中枢神经系统的极端简化，其中某些属性被夸大，另一些则被抑制。

感知机是一台由众多参数构成的机器，这些参数需要被调整以逼近某个结果。如果说科学实验通常依赖于检验参数很少的模型，那么鉴于有待确定的参数数量不断增加，罗森布拉特的神经网络可以被视为最典型意义上的实验性模拟。而符号主义人工智能恰恰缺少这一实验维度：其算法反而常常基于相反的假设——即有限数量的规则可以投射出无限的智能，却几乎不承认实现（implementation）所扮演的关键角色。感知机的数值参数并不像符号主义人工智能那样是对世界的表征；它们只是构建一个非同构的（non-isomorphic）世界模型时的关系性、局部性要素。这一特征在深度学习中愈演愈烈：今天像 GPT4 这样的算法模型拥有数以万亿计的参数。事实上，尽管神经网络的架构看似简单，只要增加几层和一些连接，它所需的运算数量便会呈指数式增长。若从算法复杂性——即计算规模与资源耗用——的视角来书写计算的历史，像感知机这样的统计神经网络标志着一道障碍：由于算力匮乏，这道障碍在当时无法被成功跨越。[26]

## 从符号逻辑到向量空间[27]

关于新近确立的人工智能领域的第一届国际研讨会，于 1958 年 11 月在西伦敦特丁顿的国家物理实验室举行，题为"思维过程的机械化"（'Mechanisation of Thought Processes'）。这一

事件在人工智能史上扮演了关键角色，却很少被研究；此处因篇幅所限，只考察罗森布拉特的贡献。罗森布拉特参加研讨会，是为了阐明并捍卫感知机背后的数学直觉——即数据在多维空间中的统计可分性（statistical separability）定理。与出席研讨会的其他人工智能学者的僵硬计算主义拉开距离，罗森布拉特解释说，感知机的数学与"粒子物理学的数学"（即统计学）的共同之处，远多于与"数字计算机的数学"的共同之处。在为大脑建模时，罗森布拉特敦促同行们脱离数字计算的范式，因为"布尔代数或符号逻辑非常适合研究可被完备描述的逻辑系统，但一旦我们试图把它应用于无法获得完备信息的系统，它就会失效"。为支持自己的论点，罗森布拉特还调用了前一年刚刚去世的冯·诺依曼的权威。正如第七章已经述及，冯·诺依曼在其最后的讲演之一中强调：

> 中枢神经系统中的逻辑与数学……在结构上必定与我们的日常经验所指涉的那些语言有本质的不同……当我们谈论数学时，我们讨论的可能是一种次级语言（secondary language），它建立在中枢神经系统真正使用的初级语言（primary language）之上。因此，从评估中枢神经系统真正使用的数学语言或逻辑语言究竟是什么的角度来看，我们数学的外在形式并非绝对相关……[282930]

冯·诺依曼论证说，大脑中的"逻辑深度"少于计算机——计算机为了模仿一个简单的思维过程，可能需要数以百万计的相继逻辑步骤（即上文提到的"组合爆炸"问题）。追随冯·诺依曼，罗森布拉特同样得出结论："在处理大脑时，似乎涉及一种不同类型的、本质上主要是统计性的数学，[因为]大脑似乎是直接地、或者说*直觉地*，而非分析地得出许多结果。"从这些段落可以清楚看出，罗森布拉特打算把感知机构想为一台统计机器而非逻辑机器——也就是说，一台与那些年正在兴起的布尔式二进制计算范式颇为不同的机器。感知机的谱系指向一条与数字计算机相关、却明显有别的技术世系。[31]

事实上，感知机的发明凝聚了来自神经学、心理学、工程学、控制论、数学和统计学等诸多学科的影响。罗森布拉特的《神经动力学》一书是证明这种思想汇聚的最佳文献。除冯·诺依曼外，罗森布拉特在《神经动力学》中还归功于：尼古拉斯·拉舍夫斯基（Nicolas Rashevsky）、麦卡洛克与皮茨以及明斯基关于逻辑神经网络的观

念；阿尔伯特·厄特利（Albert Uttley）关于分布式记忆的概率模型；罗斯·阿什比（Ross Ashby）关于机器自组织的理论；唐纳德·赫布（Donald Hebb）与哈耶克关于神经通路自我强化的思想；以及格式塔理论家关于整体知觉与分布式记忆的学说，等等。但是，感知机究竟在何种意义上构成了对这一传统的突破？简而言之，作为技术形式，感知机是一个机电计算网络；但作为数学形式，它表达了一个新颖的技巧：其可调参数代表着多维向量空间中的坐标。这一直觉与其说关乎神经生理学，不如说关乎统计学。正如下文将见，罗森布拉特的创新在于把多维分析（multidimensional analysis）这一统计技术（它曾在 1950 年代主导美国心理学）应用于图像识别。自那以后，这一技术便界定了位于机器学习核心处的逻辑形式。

通过多维分析（multidimensional analysis）解决图像识别的这个数学"技巧"，可以这样加以重构。训练数据集中的每一幅数字图像，都是一个由代表像素的数值构成的二维矩阵。除了是二维矩阵之外，每幅图像还可以被定义为多维空间中的一个点，其坐标就是每个像素的值。例如，按照 Mark I 感知机的分辨率，一幅 20×20 像素的图像等价于一个 400 维空间中的单个点。把数字图像投影到多维空间之上，会揭示出意想不到的性质。例如，在这样的多维空间中，彼此靠近的点标示相似的图像，而彼此远离的点标示不相似的图像。此外，沿着某个值在单一维度上的递进，图像可以按照特定的相似度梯度加以排列。于是，在这样的多维空间中，模式识别就可以通过把一簇点（代表一类相似图像）从所有其他点（代表不同的图像）中分离出来而得到执行。随后可以画出一条边界（技术上称为"超平面"），把这个数据空间分成两个区域，以宣告哪些图像属于某一类、哪些不属于。把数据空间分成两个区域，就叫做二元分类（"分类器算法"（classifier algorithm）一词也由此而来）。[3233]

罗森布拉特的统计可分性（statistical separability）定理论证了：感知机能够自行把这一分类行为自动化，并找到一个超平面，把向量空间线性地分成两个区域：一个区域包含与待"学习"的模式相对应的图像，另一个则不包含。超平面数学函数的参数，就是网络连接的权重。感知机的权重绘制出超平面，并在超空间中调整其倾角，直到两个点簇被完美分开。就简单感知机（联想单元与输出单元之间有 400 个权重）而言，超平面将由一个含有 400 个未知数的线性方程来定

义。这个方程的值（即神经网络的权重）由训练算法通过上述逐步逼近的程序求得。

感知机是文化技术（cultural techniques）史上的关键一幕：它所包含的不仅是把画面平面数字化为二维数值矩阵的过程，而且是把它向量化为一个多维统计矩阵的过程。凭借这一方法，人类的图像识别能力被转译并化约为向量空间中的一个数学优化问题。然而，自那以后，它的影响已远远超出图像识别：多维向量化被应用于各种类型的数据，并逐渐成为机器学习总体上所体现的那种"智能"的认识形式，即一种*统计智能*。在人工智能系统中被拟人化的那种"智能"特性，本质上就是把数据投影到多维空间之上、以执行聚类、分类和预测操作的技巧。就其核心而言，机器学习展现的是一种几何与空间性的"智能"品质。

心智的新向量[3435]

在 1950 年代，心理测量学（psychometrics）在美国各大学的心理学系中崛起为一个颇具影响的分支领域。它代表了心灵研究中一次相当还原论的转向，因为它主要关心的是人格特质、认知能力和工作技能的量化与统计测量。最终，把心理测验的数据转换为向量，以便计算相似度、协方差并寻找各种模式，成了许多学生的常规操作。

在追溯感知机的起源时，人工智能学者乔纳森·佩恩（Jonathan Penn）最近发现，罗森布拉特在其博士研究中就已经运用多维分析（multidimensional analysis）的心理测量技术来考察人格剖面。1953 年，罗森布拉特请康奈尔大学的两百名学生回答一份关于其童年的问卷，每个答案都采用数值量表，践行的正是心理测量学的典型假设："人格可以被客观地分类"。承接阿尔弗雷德·比奈（Alfred Binet）、刘易斯·特曼（Lewis Terman）、查尔斯·斯皮尔曼（Charles Spearman）尤其是路易斯·利昂·瑟斯顿（Louis Leon Thurstone）的心理测量学传统，罗森布拉特用因子分析的方法分析结果，以计算每份问卷的数值矩阵之间的相似度。通过这种方式，时年二十五岁的罗

森布拉特打算证明相似答案簇在数学上的存在，从而像一个信念坚定的心理测量学家那样，论证可区分之人格的存在。

很可能是在博士研究临近结束时，罗森布拉特注意到认知测验的数值矩阵与数字图像的数值矩阵看起来一模一样，于是开始考虑把同样的多维分析（multidimensional analysis）技术应用于视觉模式识别。显而易见，罗森布拉特的感知机计算数值图像中相似性模式的方式，与心理测量学计算心理剖面数值矩阵中相似性模式的方式如出一辙。这是人工智能那种杂交而实验性的谱系的又一例证；然而，它同时指向一种特定而耐人寻味的技术创新样态，其中度量先行于自动化：事实上，罗森布拉特把原本用于量化某项认知任务的工具，改用于这项认知任务本身的自动化。[36][37]

读博期间，罗森布拉特还有另一个想法，成为感知机的先声：他计划用一台当时名为"电子剖面分析计算机"（Electronic Profile Analyzing Computer, EPAC）的新型计算机器来自动化统计分析。《美国科学家》杂志这样描述它：[38]

> 一个"白痴脑"——一台只能解决一类问题的电子计算机——由康奈尔大学一位 25 岁的心理学学生设计并建造。这台机器正在帮助其发明者弗兰克·罗森布拉特为其在该校的博士论文准备数据。用桌面计算器需要 15 分钟才能解出的问题，这台机器 2 秒钟就能解出。罗森布拉特正在检验这样一个想法：人格可以用科学而客观的方式加以分类。[39]

> 早于 Mark I 感知机，罗森布拉特的 EPAC 是自动化多维分析（multidimensional analysis）的最初实验，而这项任务在当时的心理学实验室里通常派给人类"计算员"（多为女性）。正如巴贝奇用一台计算引擎顶替了人类计算员的位置，可以说，罗森布拉特用一台计算机顶替了统计员的位置，从而塑造了今天所理解的机器学习。读博期间，罗森布拉特的目标是借助计算机为心理测量学赋能，但事实上，反倒是心理测量学帮助计算了人工神经网络的矩阵，并促成锻造出一种新的——这一次是统计性的——合成心智模型。[40]

具有历史意义的是，感知机推进统计工具的自动化，恰恰发生在这些工具正在成为美国心理学主导方法的同一时期。1940 至 1955 年间统计学在美国心理学中的制度化，也得到了德国心理学家格尔德·吉仁泽（Gerd Gigerenzer）的研究与证实。此外，吉仁泽还注意到另一个关键现象：心理分析的工具自身转变为一种独立的心智理论：

> 统计学家对心理学新疆域的征服始于 1940 年代……到 1950 年代初，美国一流大学半数的心理学系已开设费舍尔方法的课程，并把推断统计设为研究生项目的必修要求。到 1955 年，一流期刊上超过 80% 的实验论文使用推断统计来为从数据得出的结论提供正当性……因此，我把 1955 年作为该工具在课程、教科书和社论中制度化的大致时间……在实验心理学中，推断统计几乎成了科学方法的同义词。而推断统计反过来又为心智过程提供了大批新概念，为 1960 年代以来所谓的认知革命提供了燃料。认知理论被清洗掉了"重构"和"顿悟"之类的术语，新的心智开始被描绘为从神经纤维中抽取随机样本、计算概率、进行方差分析（ANOVA）、设定决策标准、执行效用分析。在推断统计制度化之后，一大批或有意识或无意识、或初等或复杂的认知过程，都被重新解释为涉及"直觉统计"（intuitive statistics）。

吉仁泽提供了一个符合实际的分期，它与统计技术在人工神经网络研究中的采用相吻合。考虑到罗森布拉特的博士论文（1956）和他关于感知机的第一篇论文（1957），1950 年代确实是多维分析（multidimensional analysis）的统计工具实现跨学科跳跃、被应用于人工神经网络和模式识别自动化的年代。正是经由这条路径，心理测量学进入了人工智能的历史，并把一种统计心态注入其中。[41]

考虑到早在世纪之初，心理学就已尝试以统计方式量化人类智能，这些进展并不令人意外。的确，二十世纪的智能自动化是由十九世纪对智能的测量所预备的——是由一套认知能力（例如解谜或识别图片）的标准计量体系的确立所预备的，而非由对心智逻辑的研究所预备。正如科学史家西蒙·谢弗（Simon Schaffer）指出的：

> 自启蒙运动以来，神经学、人类学和生理学经常依赖此类度量：血氧流量、脉搏、皮肤电活动、颅相学图表、脑温测量，或者——最为普遍的——颅容量，都曾被用作底层大脑活动的标记，进而被用作智力、社会与道德等级的标记。毫无疑问，用于进行此类测量的仪器随后又成为神经学隐喻的来源。但这种大脑计量学所涵盖的历史，比那条把颅骨测量学与晚近的智力测验及心理测量学策略联系起来的线索更为宽广。

一台机器的表现能在何种程度上被判定为"智能的"——也就是与人类智能可通约的（即可用同一尺度加以衡量）？自图灵测试以来，机器是通过将其行为与社会惯例相比较而被判定为"智能的"。控制论以另一种方式探究这个问题，即假定人与机器之间

存在某种共同的"机制"（无论是逻辑的还是生理的）。但早在控制论和计算机科学之前的几十年，心理测量学就已经把人类智能变成了一个可量化（并且潜在可计算）的对象。例如，在二十世纪初，斯皮尔曼提出对"一般智能"（general intelligence，即 g 因素）进行统计测量，将其界定为技能测验中不相关任务之间的相关性。在斯皮尔曼看来，这些相关性从数学上证明了一种底层认知官能的存在，常识会把这种官能称作"智能"。斯皮尔曼的分析基于两个因素：一般智能（general intelligence）（g）与特殊能力（s）。几十年后，瑟斯顿批评斯皮尔曼把智能还原为仅仅两个因素，提出应考虑多重因素，并列出了多达七种智能属性或"基本心理能力"（primary mental abilities）。人们对这些统计技术的灵活性满怀热情：它们可以潜在地不断增加其维度数量，为心智与世界最复杂的方面建模。1935 年，瑟斯顿出版了一部书名颇具远见的著作《心智的向量》（The Vectors of Mind），旨在为学生提供一部通俗易懂的多因素分析导论，使心理学越来越靠近统计学的心态。[42]

然而，这样一种从社会境况中抽象出来、被剥除了任何历史语境的智能量化测量，支撑了一种精英制的社会秩序，并帮助巩固了（除其他外）测量智商（IQ）这一大可质疑的做法。这些技术在过去是、如今依然是维持社会等级与种族隔离、规训劳动力的工具。必须记住，心理测量学这门伪科学是由英国统计学家弗朗西斯·高尔顿（Francis Galton）创立的，其议程是种族主义和优生学式的：证明智力与族群之间的相关性。一个用来在不同阶级和不同"种族"的人之间进行数学区分的系统，后来又被用来把人等同于机器——这或许并非巧合。[43][44][45][46]

斯皮尔曼的 g 因素促成了"智能"被物化为一个可以统计测量的新科学"对象"。如上所述，吉仁泽也注意到心理学领域中一种类似的过程：探究工具被物化为一种思维范式——他称之为"工具到理论的启发法"（tool-to-theory heuristics）。正如他所指出的，在二十世纪中叶的心理学中，心理测量学的"统计工具"最终"变成了心理学中的心智理论"。吉仁泽与丹尼尔·戈德斯坦（Daniel Goldstein）一起描述了统计工具的采用如何也逐渐普及了心智的计算隐喻，并增强了这一隐喻的可信度。按照他们的说法，正是奈曼–皮尔逊假设检验理论和罗兰·费舍尔（Roland Fisher）的方差分析（ANOVA）等统计工具的影响，帮助巩固了二十世纪下半叶"心智即计算机"的隐喻。[47]

探究工具向心智模型的转化，也在感知机的案例中得到例证：在这里，一种统计技术不言明地变成了一个脑模型（并最终变成一个集体知识的模型）。统计神经网络的发明在其构造中隐含了"作为直觉统计学家（intuitive statistician）的心智"这一预设；反过来，它也使统计

学成为新的人工心智的模型。自那以后，统计工具不仅成为心理学中"智能"的模型，而且成为劳动自动化发展中"人工智能"的模型。最终，可以说，一整套关于世界与社会的统计观经历了一个自动化的过程，因为它经由人工智能而日益被常态化和自然化。[48][49]

入侵向量空间[50]

在1969年的著作《感知机》（Perceptrons）中，马文·明斯基（Marvin Minsky）与西摩·帕珀特（Seymour Papert）以数学方式证明，罗森布拉特的简单感知机无法识别某些模式，并由此质疑其向人类智能其他任务泛化的能力。具体而言，该书论证：某些图像一旦被投影到多维空间，便无法被简单感知机线性分离；尤其是，感知机无法把连通图形与非连通图形区分开来。这一定理以一些奇形怪状、会诱使感知机误发错误分类的图像加以说明；书的封面上印着两条缠结的螺旋线，连人眼也可能受骗（乍看之下二者一模一样，实则其一是连续的，另一由两条分离的螺旋构成）。用逻辑术语来说，该定理表明：一个简化到只有两个输入神经元的感知机可以"学会"与（AND）、或（OR）、非（NOT）这些逻辑函数，却学不会更复杂的异或（XOR，exclusive-OR）。

人工神经网络的向量空间第一次被"入侵"，其脆弱性暴露无遗。明斯基与帕珀特的结论只对最简单的一类感知机（仅有一层神经元）成立，却被当成对人工神经网络的一切配置都有效而接受下来，给整个研究领域造成了毁灭性影响。由此开启了第一个"AI 之冬"（winter of AI）——它其实是把"MIT 之冬"强加给了其他研究共同体。明斯基与帕珀特的姿态带着几分领主式的傲慢与桀骜：他们明显是想把军方经费引回 MIT——那可算不上一个缺钱的机构——并证明人工神经网络并不构成真正的"人工智能"，仿佛唯有其他技术才会揭示通往这一目标的正途。应当记得，早在1961年的专著《神经动力学》（Neurodynamics）中，罗森布拉特就已提出能够克服这些局限的多种"多层感知机"配置，只是当时无法证明收敛定理，高效的训练算法（如梯度下降）也尚不为人所知。不过，正如计算机科学家理查德·福

赛斯（Richard Forsyth）所指出的，就在《感知机》出版仅仅两年之后的1971年，已有人证明“一台加装了扩展记录器（expansion recorder）的简单 Mark I 感知机，可以被教会解决异或问题”，但这“丝毫没有动摇计算机科学家中的普遍信念：神经计算是一条已经试过并且失败了的路”。[5152]

除其他方面外，明斯基与帕珀特还注意到（罗森布拉特本人也注意到了）：人工神经网络并不善于区分图形与背景——在它们对视野的计算中，每个点多少获得了同等的优先性，而人类视觉并非如此。之所以如此，是因为人工神经网络没有关于图形与背景的“概念”，它们用一种统计相关性分布来顶替这个概念（而图形—背景关系蕴含着一个因果模型）。这个问题并未随深度学习而消失：人们已经发现，AlexNet、GoogleNet、ResNet-50 之类的大型卷积神经网络至今仍存在相对于形状而偏向纹理的偏差。比如，它们区分大象与猫的图像时，依据的可能不是二者的形状，而分别是其皮肤与毛发的纹理。之所以出现纹理压倒形状的偏差，是因为即便是卷积神经网络（它们恰恰是专门为提取边缘、特征与细节而设计的），计算的仍是全部数据的统计分布，而不只是其中“有意义”的部分（而按格式塔学派的说法，人类心智恰恰只处理后者）。这一点在当年罗森布拉特的简单感知机那里更是如此，而这种在呈现常识时的分辨率问题，恐怕也同样延伸到了当代 GPT 这样的大型基础模型。[53]

可以说，明斯基与帕珀特构想了第一种入侵“智能机器”的对抗方法，并设计了相应的“对抗补丁”（adversarial patches）——用今天的话说，就是那些能骗过图像识别深度神经网络的加工图片。作为一次“黑客行动”，它相当成功：它设法让军方经费和神经网络研究一路脱轨，直到1980年代末。撇开这场争论中的种种利害不谈，明斯基与帕珀特毕竟为批判人工神经网络所体现的知识范式作出了贡献，也帮助公众认识了多维建模的局限。[54]

然而，AI 共同体（包括批判性 AI 研究在内）中存在一种倾向：在“感知机”之争中选边站队，调动各种观点与哲学传统，来证成符号主义或联结主义人工智能才是更理性、更进步的范式，或者更有能力进行因果思维的范式。另一些解读则把两个学派一并归入军方同一套工具主义议程及其权力谱系之下。本书提出的是另一条路径：从劳动

自动化的（外部主义的）视角来研究和评估这些 AI 谱系，而不是把它们当作计算逻辑、任务性能与像人程度的（内部主义的）问题。演绎算法与统计技术都谈不上擅长模仿人类智能，因为人类智能中并没有什么可供发现的内在逻辑。人类认知与机器任务之所以能够被研究和比较，是因为智能——无论"自然的"还是"人工的"——在构成上就是外向的、依赖语境的、情境化的。机器之所以能被感知为在"思考"，是因为它们模仿的是人类的剧场。[55]

机器学习对统计工具的采用，连同其全部争议性遗产，恰是一个反证：那个被一大群工程师与计算机科学家理解为技术奇点与阿尔法机器（alpha machine）之梦的"通用人工智能"的主宰者算法（master algorithm），恰恰是数据投射出来的统计幻象。换言之，主宰者算法（master algorithm）并不作为算法而存在，而只作为一种原初的、扩展了的社会形式而存在。

知识的社会演算（social calculus）

1980年代，法国理论家保罗·维利里奥（Paul Virilio）在其著作《视觉机器》（The Vision Machine）中重新发掘了当时鲜为人知的感知机案例，将其列入以"知觉自动化"为目标的工业与军事项目光谱。然而，这些军事起源不应妨碍我们在劳动自动化、社会控制与知识采掘主义（knowledge extractivism）的更大谱系中审视感知机。在众所周知的体力劳动与脑力劳动的自动化之外，感知机开创了另一种劳动的自动化：知觉劳动（labour of perception），或曰监看（supervision）。这项劳动的任务是监看机器（即马克思所说的 Maschinenarbeit，机器劳动），也监看工作场所与流水线；当它在权威之眼——如主宰者、看守与警察——的注视下进行时，便带有明确的规训功能。正如媒介学者乔纳森·贝勒（Jonathan Beller）所概括的，"观看即劳动"，而且由来已久；但"观看也是在组织劳动"，而主宰者之眼（the eye of the master）一直都在这样做。过去，电影与摄影等光学媒介就常常参与目光的自动化与对劳动的监控，而感知机之类的模式识别实验，不过是把这些先前的机器视觉建制接合并推进到又一个阶段。

如第二章所见，工业时代以工具机与蒸汽机推进了体力劳动的机械化，又随巴贝奇以手工计算与符号操作的形式推进了脑力劳动的机械化（一如其名称所示，这些活动在很大程度上仍相当“手工”）。到二十世纪中叶，大型主机计算机把作为计算与符号操作的脑力劳动的自动化，扩展到了国家行政、大公司与科学研究之中。与这段历史相比，监看劳动（labour of supervision）是以另一种方式被机械化的。感知机（以及一般而言的模式识别算法）的新颖之处在于：一台机器第一次试图自动化一种如此高级的思辨官能——识别亦即解释一幅图像的行为——而不再是对给定含义之符号的操作。罗森布拉特把感知机定义为一台“解释环境”的机器，并主张“对环境的概念化是走向创造性思维的第一步”；就此而言，感知机其实也可以被定义为一台解释机器（interpretation machine）。[56]

在今日机器学习的技术行话里，感知机是一个分类器（classifier）——即一种算法，用以对图像作统计判别，并在给定的文化分类体系中为其指派一个类别或范畴（也称“标签”）。分类器（classifier）这一或许最重要的面向，与其内部逻辑毫无关系，而关乎其输出与某种外部约定的关联——正是这种约定确立了一幅图像或其他符号在特定文化中的含义。格式塔理论、控制论与符号主义人工智能都试图找出知觉的内部法则，而感知机这样的分类器（classifier）的关键特征却是记录外部规则——也就是社会约定。归根结底，人工神经网络是一台外向机器（extroverted machine），一台投向外部的机器，因为比如对一幅图像的解释，总是更多地受经验与外部社会因素的影响，而非内部生理回路的影响。[57]

感知机这样的分类算法所自动化的推理，不是被理解为符号操作能力的推理，而是作为情境知识（situated knowledge）的推理——这种知识是特定语境之文化遗产的一部分。图像识别或模式分类的行为是一种特殊的脑力劳动：它是一种深刻的社会行为，同时调动默会与明言的技能知识（know-how）、科学的与传统的分类体系、俗语的与技术的语法——一言以蔽之，调动作为历史过程且常常充满冲突之过程的知识生产。虽然工业中的机器监看任务可以被高度编码，但“野地里”（in the wild）的模式识别仍然是一种开放解释的姿态，而非严格的规则程序。正因如此，一台被设计来自动化这样一团认识论乱麻的

机器（参见自动驾驶汽车项目），无论当时还是现在，都会遭遇巨大的困难。此外，近来关于人脸识别机器学习系统中性别、阶级与种族偏见的争论，提醒我们一件符号学家、语言哲学家与艺术史家早就知道的事：图像解释是一种带有无法化解之政治意涵的行为。就此而言，批判性 AI 学者迈克尔·卡斯特尔（Michael Castelle）与泰勒·赖格卢斯（Tyler Reigeluth）提议把机器学习同苏联心理学家列夫·维果茨基（Lev Vygotsky）关于学习是一种社会过程的理论加以比较。分类器（classifier）的符号学结构——它根本上是一台模仿机器（imitation machine）——印证了维果茨基的论点：智能中没有可供发现的内在逻辑，因为智能在构成上就是一种社会过程。

总而言之，罗森布拉特当初用一个400维的小矩阵来自动化模式识别的实验，经由1980年代卷积神经网络的设计与2010年代深度学习的兴起，最终演变为对自发知识、大众传播与文化遗产之庞大库存的算法建模。感知机本是一场视觉模式识别的实验，此后却被扩展到非视觉数据的分析，成为一种横跨文化、社会与科学数据集的新型"模式识别"。在深度学习时代，多层感知机的架构最终成为的不是生物大脑的模型，而是集体心智的模型，并最终表露出它那由心理测量学塑形的原初本体论。事实上，AI 历史上大概最关键的时刻，正是人工神经网络随罗森布拉特的感知机从心理测量学与统计学那里继承多维分析（multidimensional analysis）技术的时刻。这不仅使模式识别成为可能，也使对维度高得多的数据的计算成为可能——半个世纪之后，在"大数据"时代，这一特性将成为关键。众所周知，"大数据"这个不幸的术语所指的，不仅是规模庞大的数据，也是类型多样的数据——在统计学中即表述为"维度"。如今，谷歌、亚马逊、Facebook、Twitter 这样的公司收集的数据，界定了关于其用户的一个广延的维度集合：位置、年龄、性别、国籍、语言、教育、职业、联系人数量，乃至政治倾向、文化兴趣，等等。这些平台公司所能分析的社会维度之繁多令人眩晕，超出了任何训练有素的统计学家的想象。因此，机器学习算法的兴起，也是对社会数据之维度爆炸的回应，而不单是对信息过载问题的回应。[58]

最终，在过去十年间，机器学习已成长为对集体知识的一种广泛的算法建模，一种"社会演算"（social calculus），旨在把个体行为、社群生活与文化遗产编码为庞大的统计相关性架构。这帮助确立了一个

全球尺度上的知识采掘主义（knowledge extractivism）垄断建制，以及劳动自动化与管理自动化的新技术。与我们这个时代为数不多的其他几件造物一样，AI 已然成为一种独特集中的例证：作为知识的权力的集中。

结论：一般智能的自动化[59]

# Conclusion: The Automation of General Intelligence

> 《逻辑》（Logic Magazine）杂志宣言，2017 年 1

> 我们生活在数字数据的时代，而在这个时代，数学已成为政治的议会。社会法则已与模型、定理和算法交织在一起。凭借数字数据，数学已成为人类与技术相协调的主导手段……数学终究是一种人类活动。正如任何其他人类活动一样，它既承载着解放的可能，也承载着压迫的可能。[1]

> Politically Mathematics 宣言，2019 年 2

> 过往劳动资料的遗迹，对于考察已经消亡的经济的社会形态，与遗骨化石对于判定已经绝迹的动物物种，具有同样重要的意义。区分不同经济时代的，不是生产了什么，而是怎样生产、用什么劳动资料生产。劳动资料不仅提供了人类劳动所达到的发展程度的测量器，而且也指示着人们在其中进行劳动的社会关系。[2]

> 卡尔·马克思，《资本论》，1867 年 3

将来会有一天，如今的 AI 会被视为一件古物，一块可与其他化石并列研究的技术化石。在上面所引《资本论》的段落中，马克思提出了一个与今日科学技术研究相呼应的类比：正如遗骨化石揭示古代物种的性质及其栖居的生态系统，技术制品同样揭示着环绕并运转它们的那个社会的形态。我认为，这一类比

> 适用于一切机器，也适用于机器学习——因为机器学习的抽象模型实际上编码了社会关系与集体行为的一种凝结物，而本书为 AI 时代重新表述十九世纪的自动化的劳动理论，正是试图论证这一点。[3]

本书以一个简单的问题开篇：劳动、规则与自动化（即新技术的发明）之间存在何种关系？为回答这一问题，本书从不同视角照亮了实践、机器与算法——既从生产的"具体"维度，也从数学与计算机科学等学科的"抽象"维度。然而，本书的关切并不是重复具体领域与抽象领域的分离，而是看到二者在历史中的共同演化：最终以辩证的方式，把劳动、规则与自动化当作物质性抽象（material abstraction）来考察。第一章强调了这一面向，揭示古代仪式、计数工具与"社会算法（social algorithm）"如何共同参与了数学观念的形成。像导论那样断言劳动是一种逻辑活动，并不是向工业机器与公司算法的心态俯首称臣，而是承认人类实践表达着它自身的逻辑（有人或许会说，是一种反逻辑〔anti-logic〕）——一种思辨与发明的力量，先于技术科学对它的捕获与异化。4

劳动必须先自行变得"机械"，机器才会取代它——这一论题是一条古老的基本原理，只不过被人遗忘了。正如第一部分所示，它至少可以追溯到亚当·斯密在《国富论》（1776）中的阐述，而黑格尔早在耶拿讲座（1805–06）中就已对此加以评论。黑格尔的抽象劳动（abstract labour）概念——即赋予机器以形式的劳动——在马克思对这一概念提出自己的激进批判之前，就已受惠于英国政治经济学。然而，如第二章所见，把亚当·斯密的洞见系统化为一套融贯的自动化的劳动理论的，是查尔斯·巴贝奇。巴贝奇又以劳动计算原理（此后被称为"巴贝奇原理"）补充这一理论，用以表明劳动分工同时使劳动成本的精确计算成为可能。本书第一部分可以被看作对巴贝奇这两条劳动分析原理的一次释读，以及对它们在政治经济学、自动计算与机器智能（machine intelligence）之共同历史中的影响的考察。尽管听起来或许不合时宜，但马克思的自动化理论与相对剩余价值榨取理论，同最早的机器智能（machine intelligence）方案共享着共同的公设。[4]

马克思颠倒了内在于巴贝奇原理之中的工业家视角——"主宰者之眼（the eye of the master）"。他在《资本论》中论证：是生产的社会关系（工资制度内部的劳动分工）推动了生产资料（工作机、蒸汽

机等）的发展，而不是相反；而技术决定论的解读从那时至今一直主张相反的方向，把工业革命仅仅围绕技术创新来叙述。对这些劳动分析原理，马克思还做了另一件事：他把劳动协作不仅视为解释机器设计的原理，而且用以界定他所称的 Gesamtarbeiter——总体工人——的政治中心地位。总体工人这一形象，一方面是承认活劳动之机器维度的一种方式，另一方面是在同等复杂性的尺度上对抗工业工厂这一"庞大自动机"的一种方式。最终，如第四章所见，它也是一个必要的形象，用以在更坚实的政治基础上安放威廉·汤普森与托马斯·霍吉斯金等李嘉图派社会主义者所追求的"一般智力"这一含混观念。part IPart I

从装配线到模式识别

本书提供了一部劳动分工及其度量衡不断扩展的历史，以此在长时段中辨认 AI 的运作原理。如我们所见，在十九世纪之交，劳动分工越是扩展到一个全球化的世界，其管理就越是棘手，从而需要新的通信、控制与"智能"技术。在工场内部，劳动管理尚可用一张简单的流程图勾画、用一只时钟计量；但要把埃米尔·涂尔干早在 1893 年就已界定为"社会劳动分工"的东西加以可视化和量化，却是高度复杂的。5 工厂主宰者的"智能"再也无法一眼总览整个生产过程；此时，只有通信基础设施才能承担这种监督与量化的职能。电报、电话、广播与电视网络等新的大众媒介使跨国家、跨大陆的通信成为可能，但它们同时也开启了观察社会与集体行为的新视角。如第五章所见，詹姆斯·贝尼格贴切地把信息技术的兴起描述为一场"控制革命（control revolution）"，在那个时期，它对于治理全球北方的经济繁荣与商业过剩被证明是必要的。第二次世界大战之后，对这种扩展化物流的控制成为一门沟通数学与管理的军方新学科的关切：运筹学。然而，还应当考虑到，各国内部与跨国范围内工人阶级的转型——以城市冲突与去殖民斗争的周期为标志——同样属于促成这些新控制技术兴起的因素。第六章力图追索二战后控制论的自组织方案与社会层面的自组织冲动之间的历史巧合，反文化运动与反威权运动即是例证。

从十九世纪到二十世纪，劳动构成的尺度变迁也影响了自动化的逻辑，亦即卷入这场转型的科学范式。相对简单的工业劳动分工及其看似笔直的装配线，可以轻易地比作一个简单算法：一种具有"如果/那么"结构的、基于规则的程序，其逻辑形式上的对应物是演绎。并非巧合，演绎正是那种经由莱布尼茨、巴贝奇、香农与图灵而灌注到机电计算、并最终进入符号主义人工智能的逻辑形式。演绎逻辑对于为简单过程建模是有用的，但不适用于拥有大量自主行动者的系统，例如社会、市场或大脑。在这些情形中，演绎逻辑之所以不敷使用，是因为它会把任何程序、机器或算法炸裂为指数级数量的指令（见第七章）。出于类似的关切，控制论开始研究生命体与机器中的自组织，以便在那些无法轻易按等级化、中心化方法加以组织的高复杂性系统中模拟出秩序。这从根本上说正是联结主义与人工神经网络（如第九章所论）背后的理据，也是 Arpanet（互联网的前身）等分布式通信网络早期研究背后的理据。[5]

纵观二十世纪，还有许多其他学科记录下了社会关系日益增长的复杂性。例如，库尔特·勒温与弗里德里希·哈耶克分别使用的格式塔与模式这对孪生概念——本书前文已有描述——就是心理学与经济学如何回应一种新的社会构成的一个例证。勒温引入了力场（force field）与路径空间（hodological space）等整体论概念，以绘制介于个体与大众社会之间不同尺度上的群体动力学。6 与此同时，如第八章所见，哈耶克则劫持了"模式"这一驳杂的概念，以勾画一种基于激进个体主义的市场与心智理论。

法国思想在这一方向上尤为丰饶而富于进取。例如，哲学家加斯东·巴什拉与亨利·列斐伏尔提出了节奏分析（rhythmanalysis）的方法，作为对城市空间中社会节奏的研究（列斐伏尔按四种类型加以描述：节律紊乱〔arrhythmia〕、多节律〔polyrhythmia〕、优节律〔eurhythmia〕与等节律〔isorhythmia〕）。7 以类似的方式，法国考古学也投入到对古代文明中扩展形态的社会行为的研究之中。例如，古人类学家安德烈·勒鲁瓦-古朗与其他学者一道，引入了操作链（chaîne opératoire）的观念，用以解释史前人类制作器具的方式。8 作为法国思想中这一社会行为图示化悠久传统的顶点，吉尔·德勒兹写下了他著名的《控制社会后记》，宣告权力所关切的不再是对个体的

规训，而是对分体（dividuals）的控制，也就是对一个被扩展、被解构的身体之碎片的控制。9[6]

勒温的力场（force fields）、列斐伏尔的城市节奏与德勒兹的分体（dividuals），都可以被看作对算法治理诸原理的预言——自 1990 年代末以来，这些原理已随网络社会及其庞大的数据中心而确立。1998 年谷歌 PageRank 算法的发布——一种组织并检索万维网混沌超文本的方法——按惯例被视为对来自数字网络的"大数据"的首次大规模处理。10 这些网络测绘技术如今已无处不在：例如，Facebook 使用 Open Graph 协议来量化喂养其平台注意力经济的人际关系网络。11 美国军方则一直在使用其颇具争议的生活模式分析（pattern-of-life analysis）技术，以测绘战区中的社会网络并确定无人机打击的目标——众所周知，这些打击曾杀害无辜平民。12 更晚近，Uber、Deliveroo、Wolt、Amazon 等零工经济平台与物流巨头开始通过地理定位应用追踪其骑手与司机车队。13 所有这些技术都属于"人员分析（people analytics）"（又称"社会物理学"或"心理画像"）这一新领域，而后者不过是把统计学、数据分析与机器学习应用于后工业社会的劳动力问题而已。14[7][8][9]

## 心理测量学的自动化，或一般智能的自动化[10][11][12][13][14]

如果"模式"、"格式塔"或"模型"这类吸引人的概念不被置于经济视角之中（例如哈耶克就没有放过这一机会），那么对它们的使用便很容易沦为一种自我指涉的文化主义演练。劳动分工同机器与算法的设计一样，本身并非抽象形式（abstract forms），而是测量劳动与社会行为、并依生产能力甄别人群的手段。正如第二章所勾勒的巴贝奇诸原理所表明的，任何劳动分工都自带一套度量衡：它既是对工人作业表现与效率的测量，也是对技能等级的评判，而后者隐含着一种社会等级制。劳动的度量衡之所以被引入，是为了评定什么是生产性的、什么不是，是为了在宣称与货币体系等价的同时操纵一种社会不对称。在现代，工厂、兵营与医院以相似的方法追求对身体与心智的规训与组织——米歇尔·福柯等人已察觉这一点。

十九世纪末，劳动与行为的计量学在统计学的一个新领域中找到了盟友：心理测量学。心理测量学的目的在于测量人口解决基本任务的技能，它在认知测验上进行统计比较，而不是像更早的心理物理学那样测量身体表现。作为阿尔弗雷德·比奈（Alfred Binet）、查尔斯·斯皮尔曼（Charles Spearman）与路易斯·瑟斯顿（Louis Thurstone）之争议性遗产的一部分，心理测量学可被视为统计学的主要谱系之一——统计学从来不是一门中立的学科，毋宁说它始终关切"对人的测量"、行为规范的建制以及对异常的压制。劳动的度量衡向劳动的心理测量学的转变，是二十世纪管理与技术发展的一个关键环节。正如我们在第九章所见，弗兰克·罗森布拉特在设计首个人工神经网络——感知机——时，不仅受到神经可塑性理论的启发，也受到心理测量学在1950年代引入美国心理学的多变量分析工具的启发，这一点颇能说明问题。

从这一视角出发，本书试图阐明：AI 事业实际上源自对劳动与社会行为之心理测量学的自动化，而非源自破解智能之"谜"的求索。若要对 AI 的历史作一简要概括，可以说：工业时代的"一般智力"之所以能被机械化为二十一世纪的"人工智能"，靠的是对技能的统计测量——例如斯皮尔曼的"一般智能"因素——及其随后在人工神经网络中的自动化。如果说在工业时代，机器被视为科学、知识以及工人之"一般智力"的体现，那么在信息时代，人工神经网络则成为第一种把"一般智能"编码进统计工具的机器——具体而言，起初是为了把模式识别作为"人工智能"的关键任务之一加以自动化。简言之，AI 的当前形态即机器学习，就是对统计度量衡的自动化，而这些度量衡最初正是为了量化认知的、社会的与工作相关的能力而被引入的。借助信息技术来应用心理测量学，并非机器学习独有的现象。2018 年 Facebook–剑桥分析（Cambridge Analytica）数据丑闻中，这家咨询公司得以在数百万人未经同意的情况下收集其个人数据；这一事件提醒我们，大规模心理测量学仍被公司与国家行为者用于预测并操纵集体行为的企图之中。[1516]

鉴于深度人工神经网络承袭自十九世纪生物测量学的统计工具，它们近来展开为诸如人脸识别与生活模式分析（pattern-of-life analysis）之类的先进监控技术，也就不足为奇了。鲁哈·本杰明（Ruha Benjamin）与温迪·全（Wendy Chun）等批判性 AI 学者已揭

露了这些身份识别与画像技术的种族主义起源；这些技术同心理测量学一样，几乎构成了 AI 社会偏见的技术性证明。他们正确地指认了位于机器学习核心的歧视权力，并指出这种权力如何使机器学习与现代的规范性装置——包括医学、精神病学与刑法中那些可疑的分类法——结成一体。[17]

发端于十九世纪末的智能计量学，连同其或隐或显的社会隔离与种族隔离议程，至今仍在 AI 的核心处运作，用以规训劳动并复制知识的生产性等级。因此，AI 的运作理据不仅是劳动的自动化，而且是以间接方式对这些社会等级的强化。通过隐含地宣告什么可以被自动化、什么不可以，AI 在其发展的每个阶段都强加了一套新的智能度量衡。然而，比较人类智能与机器智能（machine intelligence），也就意味着评判哪种人类行为或哪个社会群体比另一个更智能、哪些工人可以被替代而哪些不能。归根结底，AI 不仅是使劳动自动化的工具，也是强加机械智能标准的工具，这些标准以或多或少不可见的方式传播着知识与技能的社会等级。同先前任何一种自动化形式一样，AI 并非简单地替代工人，而是将他们移置并重组进一种新的社会秩序。[1819]

## 自动化的自动化

仔细审视那些为评定认知技能、甄别人们生产率而设计的统计工具如何变成了算法，自动化的一个更深层面向便显现出来。事实上，对劳动与行为计量学的研究揭示：在某些情形中，自动化正是从测量仪器本身转变为动态技术（kinetic technologies）的过程中产生的。用于劳动量化与社会甄别的工具自身变成了"机器人"。在心理测量学之前，可以举时钟为例：工厂中用于测量劳动时间的时钟，后来被巴贝奇用于差分机中脑力劳动的自动化（见第二章）。诺伯特·维纳等控制论者仍把时钟视为大脑与计算机二者的关键模型。在这方面，科学史家亨宁·施密特根（Henning Schmidgen）指出，对神经刺激的计时测量既促成了大脑计量学的巩固，也促成了麦卡洛克与皮茨的神经网络模型。因此，本书所阐明的自动化理论所

指向的，不仅是机器从劳动管理的逻辑中产生，而且是机器从量化一般人类生命并使之具有生产性的仪器与度量衡中产生。

本书力图表明：AI 是劳动自动化与社会量化之漫长演化的顶点。事实上，机器学习的统计模型与工业机器的设计并非截然不同，而毋宁说是同源的：它们确实由同一种对任务与集体行为的分析性智能所构成，只不过复杂程度（即参数数量）更高。正如工业机器的设计是经由例行任务与试错调整逐渐浮现的，机器学习算法也通过一个可相类比的试错过程，使其内部模型适应训练数据中的模式。可以说，机器的设计与统计算法的模型遵循着相似的逻辑：二者都基于对空间、时间、关系与操作之外部配置的模仿。在 AI 的历史上，这一点既适用于罗森布拉特的感知机（其目标是记录目光的移动与视野的空间关系），也适用于今天的任何其他机器学习算法（例如支持向量机、贝叶斯网络、Transformer 模型）。[20]

工业机器以确定的方式体现劳动分工的图示（试想织布机、车床或采矿挖掘机的部件及其有限的"自由度"）；与此相对，机器学习算法（尤其是近年拥有巨量参数的 AI 模型）却能模仿复杂的人类活动。尽管其逼近程度与偏见问题重重，机器学习模型仍是一种自适应的人工制品，能够编码并再现最为多样的任务配置。例如，同一个机器学习模型既可以仿真装配线上机械臂的运动，也可以仿真自动驾驶汽车中司机的操作；同一个模型还既能在语言之间进行翻译，也能用口语化的词句描述图像。

近年来大型基础模型（large foundation models）（如 BERT、GPT、CLIP、Codex）的兴起表明：单个深度学习算法可以在一个庞大的整合数据集（包含文本、图像、语音、结构化数据与三维信号）上接受训练，并被用于自动化范围广泛的所谓下游任务（问答、情感分析、信息抽取、文本生成、图像描述、图像生成、风格迁移、目标识别、指令遵循，等等）。就其建立在文化遗产、集体知识与社会数据的大型仓储之上这一点而言，大型基础模型（large foundation models）是对工业时代所设想的"一般智力"之机械化的最切近的逼近。基础模型所展示的机器学习的一个重要方面在于：个别任务的自动化、文化遗产的编码化与社会行为的分析在技术上并无区别——它们可以由同一个统计建模过程来完成。[21]

总而言之，机器学习可以被视为使机器设计与模型制作这一过程本身自动化的事业——也就是说，是对自动化的劳动理论自身的自动化。在这个意义上，机器学习——尤其是大型基础模型（large foundation models）——代表着对通用机器（Universal Machine）的一个新定义，因为它们的能力不仅在于执行计算任务，而且在于模仿广义上的劳动与集体行为。因此，机器学习所代表的突破不只是人们有时所说的"统计的自动化"，而是自动化的自动化，它把这一过程推进到集体知识与文化遗产的尺度。更进一步，机器学习可以被视为劳动自动化与社会治理逐步整合的技术性证明。机器学习模型从对劳动分工与心理测量学的模仿中产生，逐渐演化为一种整合的治理范式，公司数据分析及其庞大的数据中心便是其显例。[22]

分析至此，必须指出：机器学习的当前形态受到内在限度的制约。在 2021 年 9 月发表的一篇论文中，尼尔·汤普森（Neil Thompson）与其他几位计算机科学家论证：深度学习的纠错技术已经触及计算上的极限，若不付出连大公司不久后也难以承受的高昂能源与硬件资源代价，便无法继续增长。计算爆炸问题在 AI 的历史上周期性地重现，这一次波及的是人工神经网络。这些发现可以推广到其他算法与纠错技术，同时也证明了：AI 的"智能爆炸"是一个幻景。正因如此，当批判理论卷入那些漫画式的运动、去发现隐藏在 AI 黑箱中的"异己智能"时，它往往忽视了这一逻辑限度。学者们感知为"异己智能"的东西，更平实地说，不过是超大规模的统计相关性游戏。在这场相关性游戏中并无任何"奇点"现象的证据；而且，鉴于其计算约束，当前的 AI 并无变成牛津学者尼克·博斯特罗姆（Nick Bostrom）所警告的那种恶意"超级智能"之虞。[23]

拆解主宰者算法（master algorithm）[24]

鉴于数据集的规模不断增长、大模型的训练成本高昂，加之承载此类模型所必需的云基础设施被 Amazon、Google、Microsoft 等少数公司（及其亚洲对应者阿里巴巴与腾讯）所垄断，人人都已看清：AI 的主权仍是一桩地缘政治尺度上的棘手事务。不仅如此，各种治理装置（气候科学、全球物流、乃至医疗保健）汇聚到同一种硬件（云计算）与同一种软件

（机器学习）之上，这标志着一种更强的垄断化趋势。除了臭名昭著的权力积聚问题之外，数据垄断的兴起还指向一种对本书至关重要的技术趋同现象：劳动的手段已经与度量劳动的手段合而为一；同样，管理与物流的手段也已与经济计划的手段合而为一。

这一点在最近的 COVID-19 大流行期间也变得显而易见：其时建立起了一套用于追踪、测量和预测社会行为的大型基础设施。然而，这套在医疗保健与生命政治史上前所未有的基础设施并非凭空创造，而是建立在既有的数字平台之上——这些平台编排着我们绝大部分的社会关系。特别是在封锁期间，同一种数字媒介被用于工作、购物、与家人朋友交流，最终也被用于医疗保健。地理定位及其他元数据这类关于社会身体的数字度量，对全球疫情的预测模型至关重要，但它们早已被长期用于追踪劳动、物流、商业与教育。乔治·阿甘本（Giorgio Agamben）等哲学家声称这套基础设施延续了大流行的紧急状态，而实际上，它在医疗保健与生命政治领域的部署，所延续的是数十年来对社会身体之经济生产率的监测——只不过这种监测在许多人那里一直未被察觉。

数据基础设施的技术趋同还揭示出：当代自动化并不只是对单个工人的自动化——如人形机器人这一刻板形象所示——而且是对工厂的主宰者与管理者的自动化，正如零工经济平台上所发生的那样。从物流巨头（Amazon、Alibaba、DHL、UPS 等）与出行巨头（Uber、Share Now、Foodora、Deliveroo）到社交媒体（Facebook、TikTok、Twitter）——平台资本主义是这样一种自动化形式：它实际上并不取代工人，而是使工人成倍增加并以新的方式治理他们。这一次，与其说是劳动的自动化，不如说是管理的自动化。在这种新的算法化管理（algorithmic management）形式之下，我们全都被变成一个庞大自动机的分体工人（dividual workers）——这个自动机由全球各地的用户、"土耳其机器人工人"（'turkers'）、护理者、司机和形形色色的骑手组成。围绕 AI 将完全取代工作岗位这一恐惧展开的争论走错了方向：在所谓的平台经济中，算法实际取代的是管理层，同时使不稳定的工作成倍增加。尽管零工经济的收入相对于传统本地部门仍居少数，但由于在全世界使用同一套基础设施，这些平台已经确立了垄断

地位。总而言之，新"主宰者"的权力不在于个别任务的自动化，而在于对社会劳动分工的管理。与阿兰·图灵的预言相反，机器人首先来取代的是主宰者，而不是工人。[25][26]

人们不禁要问：在这样一个技术上高度整合的空间里，政治干预的机会何在？草根与体制性倡议所呼吁的"重新设计 AI"，究竟是合理且可行的吗？这一呼吁首先应当回答一个更紧迫的问题：如何才可能"重新设计"大规模的数据与知识垄断？随着 Amazon、Walmart、Google 等大公司获得了通达整个社会身体之需求与问题的独特入口，一场日益壮大的运动所要求的不只是让这些基础设施更透明、更可问责，而是切实将其集体化为公共服务（如弗雷德里克·詹姆逊等人所建议的），或者以公共替代品取而代之（如尼克·斯尔尼塞克所主张的）。但是，设计这类替代方案的另一种方式会是什么？[27]

正如本书的自动化理论所提示的，任何技术与制度装置——包括 AI——都是一个生产性社会过程的结晶。问题之所以产生，是因为这种结晶"骨化"并重述了过去的结构、等级与不平等。要批判和解构 AI 垄断这类复杂制品，我们首先应当投入一项细致的去联结主义（deconnectionism）工作：一步一步、一份文件一份文件、一个数据集一个数据集、一条元数据一条元数据、一个相关性一个相关性、一个模式一个模式地，拆解在起源处构成它们的社会与经济肌理。这项工作已经由新一代学者在推进，他们正在解剖 AI 的全球生产流水线，尤其是那些运用行动研究（action research）方法的学者。其中特别值得一提的有：莉莉·伊拉尼（Lilly Irani）的 Turkopticon 平台，用于在零工平台 Amazon Mechanical Turk 上"打断工人的隐形状态"；亚当·哈维（Adam Harvey）对人脸识别训练数据集的调查，揭露了 AI 公司与学术研究的大规模隐私侵犯；还有来自印度的 Politically Mathematics 集体的工作，他们分析了 COVID-19 预测模型对最贫困人口的经济影响，并将数学重新夺回为政治斗争的空间（见本结论开头所引的他们的宣言）。[28][29]

自动化的劳动理论是一条分析原则，也可用于研究 AI 垄断所化身的新的主宰者之眼（the eye of the master）。然而，恰恰因为它强调的是构成技术系统的劳动过程与社会关系，它同时也是一条综合性的、"社会发生性的"（sociogenic）原则（借用弗朗茨·法农与西尔维

娅·温特的纲领性用语）。归根结底，自动化的劳动理论的核心是一种社会自主的实践。唯有进入最初构成技术的那个社会关系母体之中，技术才能被评判、被争夺、被重新占有、被重新发明。替代性技术应当被安置在这些社会关系之中，其方式与过去数个世纪里合作社运动的做法并无不同。但是，建造替代性算法并不意味着让算法更合乎伦理。例如，把伦理规则硬编码进 AI 与机器人的提议就显得极不充分、极不完整，因为它没有直接触及自动化在其核心处的广泛政治职能。[30]

我们需要的既不是技术解决主义（techno-solutionism），也不是技术贫困主义（techno-pauperism），而是一种发明、设计与规划的文化——它关怀共同体与集体，绝不把能动性与智能完全让渡给自动化。技术政治的第一步不是技术性的，而是政治性的。它关乎解放和去殖民化——即便不是整体废除——复杂技术系统、工业机器人与社会算法（social algorithms）所赖以建立的劳动组织与社会关系，尤其是其内建的工资制度、财产权与身份政治。劳动与社会的新技术只能奠基于这一政治转型之上。显然，这一进程的展开不仅要求发展技术知识，也要求发展政治知识。AI 对社会的问题性效应之一是其认识论影响——它把智能呈现为机器智能（machine intelligence），并隐含地把知识助推为程序性知识。然而，超越 AI 的政治认识论（political epistemology）方案，将必须转化抽象思维的各种历史形式（数学的、机械的、算法的、统计的），并把它们整合为批判思维自身工具箱的一部分。在直面 AI 的认识论及其知识榨取主义（knowledge extractivism）体制时，必须习得一种不同的技术心态、一种集体的"反智能"（counter-intelligence）。[31][32]

What is needed is neither techno-solutionism nor techno-pauperism, but instead a *culture of invention*, design and planning which cares for communities and the collective, and never entirely relinquishes agency and intelligence to automation. The first step of technopolitics is not technological but political. It is about emancipating and decolonising, when not abolishing as a whole, the organisation of labour and social relations on which complex technical systems, industrial robots, and social algorithms are based – specifically their inbuilt wage system, property rights, and identity

politics. New technologies for labour and society can only be based on this political transformation. It is clear that this process unfolds also by developing not only technical but also political knowledge. One of the problematic effects of AI on society is its epistemic influence – the way in which it renders intelligence as machine intelligence and implicitly fosters knowledge as procedural knowledge. The project of a political epistemology to transcend AI, however, will have to transmute the historical forms of abstract thinking (mathematical, mechanical, algorithmic, and statistical) and integrate them as part of the toolbox of critical thinking itself. In confronting the epistemology of AI and its regime of knowledge extractivism, a different technical mentality, a collective 'counter-intelligence', has to be learned.

# Notes

### Introduction: AI as Division of Labour

1 Karl Marx, *A Critique of Political Economy*, vol. 1, trans. Ben Fowkes, London: Penguin, 1981, 549. Marx remarked also: 'The "master" can sing quite another song, when he is threatened with the loss of his "living" automaton' (ibid., 544).

2 Antonio Gramsci, *Selections from the Prison Notebooks*, New York: International Publishers, 1971, 9 (translation modified).

3 Richard Sennet, *The Craftsman*, New Haven, CT: Yale University Press, 2008; Lissa Roberts and Simon Schaffer (eds), *The Mindful Hand: Inquiry and Invention from the Late Renaissance to Early Industrialisation*, Chicago: University of Chicago Press, 2007. On the role of touch in the digital age, see Rebekka Ladewig and Henning Schmidgen (eds), *Body and Society* 28, nos. 1–2, special issue, 'Symmetries of Touch: Reconsidering Tactility in the Age of Ubiquitous Computing' (2012).

4 In the early 1960s, Romano Alquati defined 'information' as the innovative microdecisions that workers take along the production process (see chapter 5 in this book). See also Matteo Pasquinelli, 'Italian Operaismo and the Information Machine', *Theory, Culture and Society* 32, no. 3 (2015): 49–68; Florian Sprenger, 'Microdecisions and Autonomy in Self-Driving Cars: Virtual Probabilities', *AI and Society* (2020): 1–16.

5 Andrew J. Hawkins, 'Elon Musk Just Now Realizing That Self-Driving Cars Are a "Hard Problem" ', theverge.com, 5 July 2021.

6 See also 'A Manifesto', *Logic Magazine*, issue 1, March 2017.

7 Lorraine Daston, 'Calculation and the Division of Labor, 1750–1950', *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Spring 2018): 13.

8 Friedrich Engels contested 'the eye of the master' and argued that in larger enterprises and infrastructures of the time, such as the railway companies, workers possess a greater overview of the production process: 'The economical development of our actual society tends more and more to concentrate, to socialise production into immense establishments which cannot any longer be managed by single capitalists. All the trash of

"the eye of the master", and the wonders it does, turns into sheer nonsense as soon as an undertaking reaches a certain size. Imagine "the eye of the master" of the London and North Western Railway! But what the master cannot do the workman, the wages-paid servants of the Company, can do, and do it successfully. Thus the capitalist can no longer lay claim to his profits as "wages of supervision", as he supervises nothing.' Friedrich Engels, 'Social Classes: Necessary and Superfluous', *Labour Standard*, 6 August 1881.

9 On the regime of visuality in the slave plantation, see Nicholas Mirzoeff, *The Right to Look: A Counterhistory of Visuality*, Durham, NC: Duke University Press, 2011.

10 Michel Foucault, *Discipline and Punish: The Birth of the Prison,* New York: Pantheon Books, 1977.

11 Sigfried Giedion, *Mechanization Takes Command: A Contribution to Anonymous History*, Oxford: Oxford University Press, 1948, 5.

12 Harry Braverman, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*, New York: Monthly Review Press, 1974, 117. See Frederick Winslow Taylor, *The Principles of Scientific Management*, New York: Harper & Brothers, 1911.

13 Jonathan Beller, *The Cinematic Mode of Production: Attention Economy and the Society of the Spectacle*, Lebanon, IN: University Press of New England, 2006.

14 See Charles S. Maier, 'Between Taylorism and Technocracy: European Ideologies and the Vision of Industrial Productivity in the 1920s', *Journal of Contemporary History* 5, no. 2 (1970): 27–61; Rolf Hellebust, 'Aleksei Gastev and the Metallization of the Revolutionary Body', *Slavic Review* 56, no. 3 (1997): 500–18; Ana Hedberg Olenina, *Psychomotor Aesthetics: Movement and Affect in Modern Literature and Film*, Oxford: Oxford University Press, 2020; Nicolás Salazar Sutil, *Motion and Representation: The Language of Human Movement*, Cambridge, MA: MIT Press, 2015; Elspeth Brown, *The Corporate Eye: Photography and the Rationalization of American Commercial Culture*, 1884–1929, Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2008; Daniel Nelson (ed.), *A Mental Revolution: Scientific Management Since Taylor*, Columbus, OH: Ohio State University Press, 1992.

15 The expressions 'labour theory of automation' and 'labour theory of the machine' are constructed on similar ones that are used in political economy such as the 'labour theory of value'.

16 Émile Durkheim, *The Division of Labor in Society*, New York: Free Press, 1984 [1893]; Sandro Mezzadra and Brett Neilson, *The Politics of Operations: Excavating Contemporary Capitalism*, Durham, NC: Duke University Press, 2019, 55.

17 See Moritz Altenried, *The Digital Factory: The Human Labor of Automation*, Chicago: University of Chicago Press, 2021.

18 Alan Turing, 'Lecture on the Automatic Computing Engine' (1947), in *The Essential Turing*, ed. B. Jack Copeland, London: Clarendon Press, 2004, 392.

19 Andrew Ure, *The Philosophy of Manufactures,* London: Charles Knight, 1835, 13–14.

20 Mary Gray and Siddharth Suri, *Ghost Work: How to Stop Silicon Valley from Building a New Global Underclass*, New York: Houghton Mifflin Harcourt, 2019. See also Lilly Irani, 'The Cultural Work of Microwork', *New Media and Society* 17, no. 5, 2013, 720–39; Lilly Irani and Michael Six Silberman, 'Turkopticon: Interrupting Worker Invisibility in Amazon Mechanical Turk', Proceedings of CHI 2013, 28 April–2 May 2013.

21 Neda Atanasoski and Vora Kalindi, *Surrogate Humanity: Race, Robots, and the Politics of Technological Futures*, Durham, NC: Duke University Press, 2019.

22 Nick Bostrom, *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, Oxford: Oxford University Press, 2014.

23 Simon Schaffer, 'Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism', in *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*, ed. Francis Spufford and Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1996; Simon Schaffer, 'Enlightened Automata', in *The Sciences in Enlightened Europe*, ed. William Clark, Jan Golinski, and Simon Schaffer, Chicago: University of Chicago Press, 1999; Elly Rachel Truitt, *Medieval Robots: Mechanism, Magic, Nature, and Art*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 2015; Adelheid Voskuhl, *Androids in the Enlightenment: Mechanics, Artisans, and Cultures of the Self*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

24 Simon Schaffer, 'Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System', *Critical Inquiry* 21, no. 1 (1994): 204. See also Bernard Geoghegan, 'Orientalism and Informatics: The Alterity in Artificial Intelligence, from the Chess-Playing Turk to Amazon's Mechanical Turk', *Ex-Position* 43 (June 2020): 45–90.

25 See, for instance, Nils Nilsson, *The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

26 For an example of corporate agenda see Pedro Domingos, *The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*, London: Penguin, 2017.

27 On the idea of autonomous technology, see the classic Langdon Winner, *Autonomous Technology: Technics-Out-of-Control as a Theme in Political Thought*, Cambridge, MA: MIT Press, 1977.

28 Cathy O'Neil, *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*, New York: Crown Publishers, 2016; Safiya Umoja Noble, *Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*, New York: New York University Press, 2018; Ruha Benjamin, *Race after Technology: Abolitionist Tools for the New Jim Code*, Cambridge: Polity, 2019; Wendy Hui Kyong Chun, *Discriminating Data: Correlation, Neighborhoods, and the New Politics of Recognition*, Cambridge, MA: MIT Press, 2021. AI studies are not growing without internal complications. Yarden Katz has noted how sometimes 'critical AI experts use their position to reinforce white supremacy with a progressive face … with language appropriated from radical social movements'. Yarden Katz, *Artificial Whiteness*, New York: Columbia University Press, 2020, 128.

29 For a systematic overview of critical AI studies, see: University of Cambridge, Department of History and Philosophy of Science, Mellon Sawyer Seminar 'Histories of AI: A Genealogy of Power', May 2020–July 2021, ai.hps.cam.ac.uk.

30 See Richard Hadden, *On the Shoulders of Merchants: Exchange and the Mathematical Conception of Nature in Early Modern Europe*, Albany, NY: State University of New York Press, 1994.

31 About the 'military a-priori' in the history of computation, see Geoffrey Winthrop-Young, 'Drill and Distraction in the Yellow Submarine: On the Dominance of War in Friedrich Kittler's Media Theory', *Critical Inquiry* 28, no. 4 (2002): 825–54.

32 See Paul Erickson et al., *How Reason Almost Lost Its Mind: The Strange Career of Cold War Rationality*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

33 Jon Agar, *The Government Machine: A Revolutionary History of the Computer*, Cambridge, MA: MIT Press, 2003; see Chris Wiggins and Matthew L. Jones, *How Data*

*Happened: A History from the Age of Reason to the Age of Algorithms*, New York: W. W. Norton, 2023.

34 See Yarden Katz, 'Manufacturing an Artificial Intelligence Revolution', *SSRN Electronic Journal* (November 2017).

35 For a critique of social constructivism, see Langdon Winner, 'Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology', *Science, Technology, and Human Values* 18, no. 3 (1993): 362–78. For an overview of historical epistemology, see Jürgen Renn, *The Evolution of Knowledge: Rethinking Science for the Anthropocene*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020; Pietro Daniel Omodeo, *Political Epistemology: The Problem of Ideology in Science Studies*, Berlin: Springer, 2019; Henning Schmidgen, 'History of Science', in *The Routledge Companion to Literature and Science*, ed. Bruce Clarke and Manuela Rossini, London: Routledge, 2011.

36 See Peter Damerow et al., *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics: A Study of Conceptual Development in Early Modern Science*, 2nd ed., New York: Springer, 2004; Matthias Schemmel, *Historical Epistemology of Space: From Primate Cognition to Spacetime Physics*, New York: Springer, 2015. For the notion of number, see chapter 1 in this book.

37 Hilary Rose and Steven Rose (eds), *The Radicalisation of Science*, London: Macmillan, 1976; Sandra Harding, *The Science Question in Feminism*, Ithaca, NY: Cornell University Press, 1986; Evelyn Fox Keller, *Reflections on Gender and Science*, New Haven, CT: Yale University Press, 1985; Silvia Federici, *Caliban and the Witch: Women, the Body, and Primitive Accumulation*, New York: Autonomedia, 2004.

38 See chapter 5. For a novel approach to workers' inquiry, see Jamie Woodcock, 'Towards a Digital Workerism: Workers' Inquiry, Methods, and Technologies', *Nanoethics* 15 (2021): 87–98.

39 'Master' and 'pattern' share a common political etymology. The English term 'pattern' comes from the French *patron* and the Latin *patronus*. Both have the same root of the English 'paternal' and 'father', that is the Latin *pater.* The Latin *patronus* means also protector, also in relation to servants. The French *patron* has the meaning of leader, boss, or head of a community, which, in patriarchal contexts, implies a model to follow.

40 AlexNet was a next-generation convolutional neural network named after Geoffrey Hinton's student Alex Krizhevsky. By convention, the following paper marks the beginning of the deep learning era: Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Geoffrey Hinton, 'Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks', *Advances in Neural Information Processing Systems* 25 (2012): 1097–105. See also Dominique Cardon, Jean-Philippe Cointet, and Antoine Mazières, 'Neurons Spike Back: The Invention of Inductive Machines and the Artificial Intelligence Controversy', trans. Elizabeth Libbrecht, *Réseaux* 211, no. 5 (2018): 173–220.

41 Hubert Dreyfus and Stuart Dreyfus, 'Making a Mind versus Modeling the Brain: Artificial Intelligence Back at a Branchpoint', *Daedalus* 117, no. 1 (1988): 15–43.

42 John McCarthy et al., 'A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence', 31 August 1955, reprinted in *AI Magazine* 27, no. 4 (2006).

43 Jean-Luc Chabert (ed.), *A History of Algorithms: From the Pebble to the Microchip*, Berlin: Springer, 1999, 1.

44 Exceptions include George Caffentzis, *In Letters of Blood and Fire: Work, Machines, and Value*, Oakland: PM Press, 2013; Amy E. Wendling, *Karl Marx on Technology and Alienation*, Berlin: Springer, 2009. See also Rob Beamish, *Marx, Method, and the Division of*

*Labour*, Urbana: University of Illinois Press, 1992; Bernhard Dotzler, *Diskurs und Medium I: Zur Archäologie der Computerkultur*, Munich: Fink Verlag, 2006.

45 Friedrich Hayek, *The Sensory Order: An inquiry into the Foundations of Theoretical Psychology*, Chicago: University of Chicago Press, 1952, 55.

46 For the first use of the term 'machine learning' see Arthur Samuel, 'Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers', *IBM Journal of Research and Development* 44 (1959): 206–26. Also, Turing speculated about 'unorganised machines' that are capable of self-organisation and, in this way, learning: Alan Turing, 'Intelligent Machinery' (1948), in *The Essential Turing*, ed. B. Jack Copeland, Oxford: Oxford University Press, 2004.

47 Lewis Terman, *The Intelligence of School Children: How Children Differ in Ability, the Use of Mental Tests in School Grading, and the Proper Education of Exceptional Children*, Boston: Houghton Mifflin, 1919, 274. Quoted in Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man*, New York: Norton & Company, 1981, 212.

48 About the deterioration of the job market towards nonsensical occupations, see David Graeber, *Bullshit Jobs: A Theory*, London: Simon & Schuster, 2018. See also Aaron Benanav, *Automation and the Future of Work*, London: Verso, 2020.

### 1. The Material Tools of Algorithmic Thinking

1 Jeannette M. Wing, 'Computational Thinking and Thinking about Computing', *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical, and Engineering Sciences* 366, no. 1881 (2008): 3718.

2 Peter Damerow and Wolfgang Lefèvre, 'Tools of Science', in Peter Damerow, *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, Berlin: Springer, 2013, 401.

3 Lorraine Daston, 'Algorithms before Computers: Patterns, Recipes, and Rules', Katz Distinguished Lecture in the Humanities, Simpson Center for the Humanities, University of Washington, 19 April 2017. See also: Lorraine Daston, *Rules: A Short History of What We Live By,* Princeton, NJ: Princeton University Press, 2022.

4 K. Ramasubramanian, 'Glimpses of the History of Mathematics in India', in *Mathematics Education in India: Status and Outlook*, ed. R. Ramanujam and K. Subramaniam, Mumbai: Homi Bhaba Centre for Science Education (TIFR), 2012.

5 Agnicayana has been reported by the Dutch indologist Frits Staal in two volumes and a documentary about an expedition in Kerala, India, in 1975: Frits Staal, *Agni: The Vedic Ritual of the Fire Altar*, two vols., Berkeley: Asian Humanities Press, 1983. Staal argued that abstract cultural forms emerge as nonconscious, and that language, numerals, and geometry are first collective practices. See Frits Staal, *Rules without Meaning: Ritual, Mantras, and the Human Sciences*, New York: Peter Lang, 1989, 71.

6 Paolo Zellini, *La matematica degli dèi e gli algoritmi degli uomini*, Milano: Adelphi, 2016, 41. Translated as *The Mathematics of the Gods and the Algorithms of Men*, London: Penguin, 2020.

7 Kim Plofker, 'Mathematics in India', in *The Mathematics of Egypt, Mesopotamia, China, India, and Islam*, ed. Victor Katz, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2007.

8 For a study of knowledge and technology transfer in antiquity, see Jürgen Renn (ed.), *The Globalization of Knowledge in History*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020.

9 The division of labour of Agnicayana is also reminiscent of the elaborate *chaîne opératoire* (operational chain) that the French anthropologist André Leroi-Gourhan has

identified in many ancestral practices of tool-making which originally are not hierarchical but spontaneous and cooperative. See Frederic Sellet, 'Chaîne opératoire: The Concept and its Applications', *Lithic Technology* 18, nos. 1–2 (1993): 106–12.

10 The last were in 1955, 1975 (the ceremony documented by Frits Staal), and 2011.

11 See also: 'An algorithm is a finite sequence of rules to apply in a determined order to a finite set of data to arrive, in a finite number of steps, at a certain result, independently of the data'. Jean-Luc Chabert (ed.), *A History of Algorithms: From the Pebble to the Microchip*, Berlin: Springer, 1999, 2. My translation: the French original provides a more precise definition as the English edition removes 'independently of the data'. Jean-Luc Chabert, *Histoire d'algorithmes: Du caillou à la puce*, Paris: Belin, 1994, 6.

12 M. S. Sriram, 'Algorithms in Indian Mathematics', in *Contributions to the History of Indian Mathematics*, Gurgaon: Hindustan Book Agency, 2005, 153–82.

13 Zellini, *La matematica degli dèi*, 51. For a contested but influential history of calculus, see Hermann Cohen, *Das Prinzip der Infinitesimal-Methode und seine Geschichte: Ein Kapitel zur Grundlegung der Erkenntniskritik* (1883).

14 The historian of mathematics Senthil Babu remarks: 'The history of mathematics in India has thus far primarily been an engagement with a corpus of texts recorded in Sanskrit … Indology recognized and canonized only the dignified Sanskritic tradition. The knowledge of many practitioners of mathematics was rendered invisible.' Senthil Babu, *Mathematics and Society: Numbers and Measures in Early Modern South India*, Oxford: Oxford University Press, 2022, 2–5. See also Senthil Babu, 'Indigenous Traditions and the Colonial Encounter: A Historical Perspective on Mathematics Education in India', in Ramanujam and Subramaniam, *Mathematics Education in India*.

15 Donald E. Knuth, 'Ancient Babylonian Algorithms', *Communications of the ACM* 15, no. 7 (1972): 671.

16 Ibid., 672.

17 Nathan Ensmenger, *The Computer Boys Take Over: Computers, Programmers, and the Politics of Technical Expertise*, Cambridge, MA: MIT Press, 2010, 131.

18 Chabert, *A History of Algorithms*, 1.

19 Thomas Macho, 'Zeit und Zahl: Kalender- und Zeitrechnung als Kulturtechniken', in *Bild – Schrift – Zahl*, ed. Sybille Krämer and Horst Bredekamp, Munich: Wilhelm Fink, 179. Quoted in translation in Geoffrey Winthrop-Young, 'Cultural Techniques: Preliminary Remarks', *Theory, Culture, and Society* 30, no. 6 (2013): 8.

20 Chabert, *A History of Algorithms*, 7.

21 For an alternative analysis of primitive economies, see Marshall Sahlins, *Stone Age Economics*, Chicago: Aldine-Atherton, 1972.

22 Gilles Deleuze and Felix Guattari, *Anti-Oedipus: Capitalism and Schizophrenia*, New York: Viking, 1977, 145.

23 Ernst Cassirer, *The Philosophy of Symbolic Forms*, vol. 1, New Haven, CT: Yale University Press, 1965, 228. Based on Max Wertheimer, *Über das Denken der Naturvölker*, Leipzig: Barth, 1910.

24 Ibid., 240.

25 Peter Damerow, 'The Material Culture of Calculation: A Theoretical Framework for a Historical Epistemology of the Concept of Number', in *Mathematisation and Demathematisation: Social, Philosophical, and Educational Ramifications*, ed. Uwe Gellert and Eva Jablonka, Leiden: Brill, 2008, 19.

26 Ibid., 20.

27 Ibid.

28 Ibid., 22.

29 Ibid.

30 Peter Damerow, 'Abstraction and Representation', in *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, Berlin: Springer, 2013, 373.

31 Damerow, 'Material Culture', 34–47.

32 Damerow, 'Action and Cognition in Piaget's Genetic Epistemology and in Hegel's Logic', in Damerow, *Abstraction and Representation*, 8.

33 Damerow, *Abstraction and Representation*, 372.

34 Ibid., 371.

35 Damerow and Lefèvre, 'Tools of Science', 395.

36 '[The] basic structures of logico-mathematical thought are … developed by the individual growing up in confrontation with culture-specific challenges and constraints under which the systems of action have to be internalised.' Damerow, 'Material Culture', 22.

37 Damerow and Lefèvre, 'Tools of Science', 400–1.

38 For a discourse analysis of the algorithm concept that does not consider the economic matrix, see Yu Mingyi, 'The Algorithm Concept, 1684–1958', *Critical Inquiry* 47, no. 3 (2021): 592–609.

39 John N. Crossley and Alan S. Henry, 'Thus Spake al-Khwârizmî: A Translation of the Text of Cambridge University Library Ms. Ii. vi. 5', *Historia Mathematica* 17, no. 2 (1990): 103–31.

40 See also Sybille Krämer, 'Zur Begründung des Infinitesimalkalküls durch Leibniz', *Philosophia Naturalis* 28, no. 2 (1991): 117–46; Peter Damerow and Wolfgang Lefèvre, 'Wissenssysteme im geschichtlichen Wandel', in *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung*, ed. F. Klix and H. Spada, Serie II: Kognition, Band 6: Wissen, Göttingen: Hogrefe, 1998, 77–113.

41 Quoted in Chabert, *A History of Algorithms*, 2.

42 Henryk Grossmann, 'Descartes and the Social Origins of the Mechanistic Concept of the World', in *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution*: *Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann*, Berlin: Springer, 2009, 181.

43 See chapter 2.

44 Within the Western tradition, Leibniz, inspired by the Chinese I Ching, already suggested binary numeration in his 1689 text *Explication de l'Arithmétique Binaire*.

45 Claude Shannon, 'A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits', *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 57, no. 12 (1938): 713–23.

46 Gödel introduced the idea of using numbers to represent mathematical functions (*Gödel numbering*) in his famous 1931 incompleteness theorems. Kurt Gödel, 'Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I', *Monatshefte für Mathematik und Physik* 38 (1931).

47 Chabert mentions another definition of algorithm by Robert McNaughton that can be used as example of the technical ossification of the social processes previously illustrated: 1). The algorithm must be capable of being written in a defined language. 2). The question that is posed is determined by some input data, called enter. 3). The algorithm is a procedure which is carried out step by step. 4). The action at each step is

strictly determined by the algorithm. 5). The output or answer (called exit) is clearly specified. Chabert, *A History of Algorithms*, 455.

48 Renn, *The Evolution of Knowledge*, 398.

49 See also Matteo Pasquinelli, 'From Algorism to Algorithm: A Brief History of Calculation from the Middle Ages to the Present Day', *Electra* 15 (Winter 2021–22): 93–102.

## 2. Babbage and the Mechanisation of Mental Labour

1 Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, London: Charles Knight, 1832, 316.

2 Quoted in Simon Schaffer, 'Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System', *Critical Inquiry* 21, no. 1 (1994): 203.

3 For an animistic genealogy of thinking automata in the modern age, see Minsoo Kang, *Sublime Dreams of Living Machines: The Automaton in the European Imagination*, Camrbidge, MA: Harvard University Press, 2011. For a theological genealogy of machine design, see Ansgar Stöcklein, *Leitbilder der Technik; Biblische Tradition und technischer Fortschritt*, Munich: Moos, 1969.

4 According to Frederick Pollock, mechanisation refers to the autonomisation of the energy source, while automation implies the independent role of information in the production process. The Jacquard loom was then an example of automation. See Frederick Pollock, *Automation: A Study of Its Economic and Social Consequences*, New York: Praeger, 1957. The autonomisation of the information component took place already in ancient musical automata. See Siegfried Zielinski and Eckhard Fürlus (eds), *Variantology 4: On Deep Time Relations of Arts, Sciences, and Technologies in the Arabic-Islamic World and Beyond*, Cologne: Walther König, 2008.

5 IBM punched cards were also used in the census of Jews in Nazi Germany. See Edwin Black, *IBM and the Holocaust: The Strategic Alliance between Nazi Germany and America's Most Powerful Corporation*, Washington: Dialog Press, 2001.

6 Ada Lovelace, 'Notes' to Luigi Menabrea, 'Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage', *Scientific Memoirs*, vol. 3, London: Richard and John E. Taylor, 1843.

7 Schaffer, 'Babbage's Intelligence', 204.

8 Babbage, *On the Economy of Machinery*, 1.

9 Babbage in November 1839, recalling events in 1821; quoted in Harry Wilmot Buxton, *Memoir of the Life and Labours of the Late Charles Babbage*, ed. Anthony Hyman, Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

10 Lorraine Daston, 'Calculation and the Division of Labor, 1750–1950', *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Spring 2018).

11 Ivor Grattan-Guinness, 'Charles Babbage as an Algorithmic Thinker', *IEEE Annals of the History of Computing* 3 (1992): 40.

12 In fact, logarithmic and trigonometrical functions do not always maintain a constant difference continuously. The method of differences, then, is a heuristic approximation that is valid only for specific ranges.

13 Babbage, *On the Economy of Machinery*, 153.

14 For the century-long problem of mechanising carry, see Matthew L. Jones, *Reckoning with Matter: Calculating Machines, Innovation, and Thinking about Thinking from Pascal to Babbage*, Chicago: University of Chicago Press, 2017.

15 See Jones, *Reckoning with Matter*; Daston, 'Calculation and the Division of Labor'.

16 Jones, *Reckoning with Matter*, 1.

17 Charles Babbage, *Ninth Bridgewater Treatise*, London: John Murray, 1838.

18 Adam Smith, *The Wealth of Nations* (1776), book 1, chapter 1. The passage continues: 'A great part of the machines made use of in those manufactures in which labour is most subdivided, were originally the inventions of common workmen, who, being each of them employed in some very simple operation, naturally turned their thoughts towards finding out easier and readier methods of performing it.' Smith adds that the invention of a new machine is due to its very users and to 'philosophers' (scientists and engineers, in the parlance of the time). See Tony Aspromourgos, 'The Machine in Adam Smith's Economic and Wider Thought', *Journal of the History of Economic Thought* 34, no. 4 (2012): 475–90.

19 Babbage, *On the Economy of Machinery*, 131–6.

20 Ibid., 137.

21 Ibid., 162.

22 Norton Wise and Crosbie Smith, 'Work and Waste: Political Economy and Natural Philosophy in Nineteenth Century Britain' (part 2), *History of Science* 27, no. 4 (1989): 411. 'Hierarchy' as collective noun is in the original.

23 Babbage, *On the Economy of Machinery*, 207.

24 Charles Babbage, *The Works of Charles Babbage*, vol. 11, ed. Martin Campbell-Kelly, London: Pickering, 1989, 85.

25 For 'machine semiotics', see Simon Schaffer, 'Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System', *Critical Inquiry* 21, no. 1 (1994): 207. On mechanical thinking, see the work of Department 1 at the Max Planck Institute for the History of Science, Berlin, under the direction of Jürgen Renn. For instance: Rivka Feldhay et al. (eds), *Emergence and Expansion of Preclassical Mechanics*, vol. 270, Berlin: Springer, 2018. On the now-popular expression 'computational thinking', see Jeannette Wing, 'Computational Thinking', *CACM Viewpoint* 49, no. 3 (March 2006).

26 Charles Babbage, 'On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery', F.R.S. Philosophical Transactions, 16 March 1826; 'Laws of Mechanical Notation', July 1851. See also Henry P. Babbage 'Mechanical Notation, exemplified on the Swedish Calculating Machine', Glasgow: British Association, September 1855.

27 Charles Babbage, *The Exposition of 1851*, London: John Murray, 1851.

28 Doron Swade has formalised Babbage's notation into a proper computer language. See Doron Swade, 'Project Report to Computer Conservation Society Committee', London, 19 March 2015.

29 Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy,* London: Penguin 1973, 704.

30 Mark Priestley, *A Science of Operations: Machines, Logic, and the Invention of Programming*, Berlin: Springer, 2011, 29.

31 Charles Babbage, 'Of the Analytical Engine', in *Passages from the Life of a Philosopher*, London: Longman, 1864, 137.

32 Ivor Grattan-Guinness, 'Charles Babbage as an Algorithmic Thinker', *IEEE Annals of the History of Computing* 3 (1992).

33 For the definition of 'analytical intelligence', see Daston, 'Calculation and the Division of Labor'.

34 Bertram Bowden, *Faster than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines*, London: Pitman, 1953.

35 See Joan Baum, *The Calculating Passion of Ada Byron*, Hamden, CT, Archon Books, 1986; James Essinger, *A Female Genius: How Ada Lovelace Started the Computer Age*, London: Gibson Square Books, 2013; Doris L. Moore, *Ada, Countess of Lovelace: Byron's Legitimate Daughter*, New York: Harper & Row, 1977; Betty Alexandra Toole (ed.), *Ada, the Enchantress of Numbers: A Selection from the Letters of Lord Byron's Daughter and Her Description of the First Computer*, Mill Valley, CA: Strawberry Press, 1992.

36 While today we distinguish *symbolic analysis* (i.e., algebra) and *numerical analysis* (i.e., the study of algorithms) as they respond to different procedures of symbolisation and reasoning, in Lovelace's time the term 'analysis' connoted both algebraic notation and the differential calculus of Newton and Leibniz, as opposed to the established curricula of geometry.

37 Lovelace, 'Notes'.

38 Ibid., 22.

39 Ibid., 22.

40 Ibid., 23.

41 Quoted in John Fuegi and Jo Francis, 'Lovelace and Babbage and the Creation of the 1843 "Notes" ', *Annals of the History of Computing* 25, no. 4 (October–December 2003): 16–26.

42 Charles Babbage, *Charles Babbage and His Calculating Engines,* New York: Dover Publications, 1961, 25.

43 Lovelace, 'Notes', 44.

44 See Jennifer Light, 'When Computers Were Women', *Technology and Culture* 40, no. 3 (1999): 455–83.

45 Simon Schaffer, 'Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism', in *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*, ed. Francis Spufford and Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1996, 77.

46 Schaffer, 'Babbage's Intelligence', 204.

47 Quoted in Priestley, *A Science of Operations*, 30. Dionysius Lardner, 'Babbage's Calculating Engine', *Edinburgh Review*, 59, 263–327 (1834). Reprinted in Charles Babbage, *The Works of Charles Babbage*, vol. 2, London: William Pickering, 1989.

48 Babbage, *On the Economy of Machinery*, 307.

49 Ibid., 315.

50 Wise and Smith, 'Work and Waste', 414. See also Charles Babbage, 'Preface', in *Memoirs of the Analytical Society*, by Charles Babbage and John Herschel, Cambridge: Cambridge University Press, 1813, xxi.

51 Babbage, *On the Economy of Machinery*, 316.

52 On Babbage's political plan, Wise has commented: 'Babbage made knowledge, or mental labour, the source of transformation in the economy, and … he sought to bring its transformational operations within the purview of mechanical laws, just as he did in the analytical engine.' Wise and Smith, 'Work and Waste', 416.

53 Babbage's last thoughts turn not to the depletion of 'human resources' but of natural ones, repeating an argument that would become a leitmotiv in the following century: 'The source of this power is not without limit, and the coal-mines of the world may ultimately be exhausted.' Already in his own time Babbage recommended the conversion to geothermal energy, even considering the geysers in Iceland as an alternative to coal.

54 William J. Ashworth, 'Memory, Efficiency, and Symbolic Analysis: Charles Babbage, John Herschel, and the Industrial Mind', *Isis* 87, no. 4 (1996): 648.

## 3. The Machinery Question

1 *The Pioneer* 1, no. 4 (28 September 1833).

2 Friedrich Engels, *Die Lage der arbeitenden Klasse in England,* Leipzig: Wigand, 1845. Translated by W. O. Henderson and W. H. Chaloner as *The Condition of the Working Class in England*, Redwood City, CA: Stanford University Press, 1958, 9.

3 Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy,* London: Penguin 1973, 692–3.

4 The industrial age is today seen in a larger context and time scale. To clarify the debt of British industrial capitalism towards its colonies and limits of Marxism itself in regard to this aspect, see Cedric Robinson, *Black Marxism: The Making of the Black Radical Tradition*, Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1983.

5 Engels's reading differs from Marx's in *Capital*, where the division of labour and the social relations of production are described as the main driver of technological development. Engels and Marx first met in 1844.

6 See Anson Rabinbach, *The Human Motor: Energy, Fatigue, and the Origins of Modernity*, Berkeley: University of California Press, 1992.

7 Maxine Berg, *The Machinery Question and the Making of Political Economy*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980, 101.

8 Ibid., 17.

9 Ibid., 2, 9–10.

10 Ibid., 168. This debate did not always take progressive directions. Thomas Carlyle was a racist thinker, for example, who often employed vitalist and gothic imageries against industrial machinery to attract workers to his cause. See Thomas Carlyle, 'Chartism', in *The Works of Thomas Carlyle*, ed. Henry Duff Traill, vol. 29, *Critical and Miscellaneous Essays IV*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010, 118–204.

11 Simon Schaffer, 'Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism', in *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*, ed. Francis Spufford and Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1996, 53–80.

12 Berg, *The Machinery Question*, 17.

13 Hawkes Smith, 'On the Tendency and Prospects of Mechanics' Institutions', *The Analyst*, 1835.

14 For an account of the Mechanics' Institute movements as form of social control and ideological battleground, see Steven Shapin and Barry Barnes, 'Science, Nature and Control: Interpreting Mechanics' Institutes', *Social Studies of Science* 7, no. 1 (1977): 31–74.

15 Berg, *The Machinery Question*, 149.

16 Ibid., 158.

17 A footnote from Marx's *Grundrisse* introduces Thompson this way. Marx, *Grundrisse*, 537.

18 William Thompson, *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth Most Conducive to Humane Happiness Applied to the Newly Proposed System of Voluntary Equality of Wealth*, London: Longman, Hurst, Rees, Orme, Brown and Green; Wheatley and Adlard, 1824, 272.

19 Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 272–5, 290, 292.

20 Karl Marx, *Capital: A Critique of Political Economy*, trans. Ben Fowkes, vol. 1, London; New York: Penguin Books; New Left Review, 1976, 482–483; Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 274.

21 Thomas Hodgskin, *Popular Political Economy: Four Lectures Delivered at the London Mechanics' Institution*, London: Tait, 1827, 97.

22 Ibid., 86. See Malthus's elitist account of knowledge in 'An Essay on the Principle of Population', 1798.

23 Ibid., 95, 78, 47.

24 Berg, *The Machinery Question*, 179.

25 See Rabinbach, *The Human Motor.*

26 Karl Marx, *The Poverty of Philosophy. Answer to the 'Philosophy of Poverty' by M. Proudhon,* Moscow: Progress Publishers, 1955.

27 Berg, *The Machinery Question*, 34.

28 Lissa Roberts, Simon Schaffer, and Peter Dear (eds), *The Mindful Hand: Inquiry and Invention from the Late Renaissance to Early Industrialisation*, History of Science and Scholarship in the Netherlands, vol. 9, Amsterdam: Koninkliijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 2007, xiii.

29 Edgar Zilsel, *The Social Origins of Modern Science*, History of Philosophy of Science, Dordrecht: Springer, 2002, 5.

30 For a progressive reading of craftmanship, see Richard Sennet, *The Craftsman*, New Haven, CT: Yale University Press, 2008. For a conservative reading of craftsmanship, see Peter Sloterdijk, *You Must Change Your Life*, London: John Wiley & Sons, 2014, 292: 'Whoever has no interest in craftsmen should therefore be equally silent about heroes.'

31 Roberts and Schaffer address this ambivalence in the idea of the modern 'denial of cunning'.

32 Peter Damerow and Wolfgang Lefèvre, 'Tools of Science', in Peter Damerow, *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, Berlin: Springer, 2013, 401.

33 Ibid., 400.

34 Arthur Stanley Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge: Cambridge University Press, 1928; Harold Francis Blum, *Time's Arrow and Evolution*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 1955.

35 Now included in Gideon Freudenthal and Peter McLaughlin (eds), *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution: Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann*, Berlin: Springer, 2009.

36 The historical epistemology of science can take different names: Andrew Pickering has called it a 'cyborg history', Galison a 'technological reading' of science's theoretical developments, Henning Schmidgen a 'machine history' (*Maschinen-Geschichte*) of science. Andrew Pickering, 'Cyborg History and the World War II Regime', *Perspectives on Science* 3, no. 1 (1995): 1–48; Peter Galison, *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time,* New York: Norton, 2003, 290; Henning Schmidgen, *Hirn und Zeit: Die Geschichte eines Experiments, 1800–1950*, Berlin: Matthes & Seitz 2014, 44.

37 'The Return of the Machinery Question', special report, *Economist*, June 2016, economist.com.

## 4. The Origins of Marx's General Intellect

1 William Thompson, *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth Most Conducive to Human Happiness Applied to the Newly Proposed System of Voluntary Equality of Wealth*, London: Longman, 1824, 214.

2 'Education of the People', *London Magazine*, April 1828, 1; 'Reforms in the Law, No. I. The History of a Suit', *London Magazine*, June 1828, 309.

3 Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, trans. Martin Nicolaus, London: Penguin, 1993, 706.

4 'Even though Heath was satirising the movement, his posters include some wonderful future ideas for transport, including a steam horse and a steam coach, a vacuum tube, a bridge to Cape Town, and various forms of flight, including a flying postman.' Mike Ashley, 'Inventing the Future', British Library blog, 15 May 2014, bl.uk.

5 See Don Herzog, *Poisoning the Minds of the Lower Order*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.

6 Ashley, 'Inventing the Future'.

7 See Michael Hancher, 'Penny Magazine: March of Intellect in the Butchering Line', in *Nineteenth-Century Media and the Construction of Identities*, Laurel Brake, Bill Bell and David Finkelstein, London: Palgrave, 2016, 93.

8 *London Magazine*, April and June 1828 issues. See chapter epigraph.

9 Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, trans. Martin Nicolaus, London: Penguin, 1993, 690–71.

10 Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*.

11 Thomas Hodgskin, *Popular Political Economy: Four Lectures Delivered at the London Mechanics Institution*, London: Tait, 1827; Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, London: Charles Knight, 1832.

12 In *Capital* (493) Marx refers to Wilhelm Schulz's distinction between tool and machine, yet without commenting on Schulz's account of intellectual production (*geistige Produktion*) from *Die Bewegung der Produktion* (Zurich, 1843). Karl Marx, *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie*, vol. 1, Hamburg: Meissner, 1867; *Capital: A Critique of Political Economy*, vol. 1, trans. Ben Fowkes, London: Penguin, 1981. See Walter Grab, *Dr. Wilhelm Schulz aus Darmstadt. Weggefährte von Georg Büchner und Inspirator von Karl Marx*, Frankfurt am Main: Gutenberg, 1987. Thanks to Henning Schmidgen for this reference.

13 Karl Marx and Friedrich Engels, *Die deutsche Ideologie* (1846), 1st ed., Moscow: Marx-Engels Institute, 1932; Karl Marx and Friedrich Engels, *The German Ideology*, ed. C. J. Arthur, New York: International Publishers, 1970.

14 This idea could be termed a *labour theory of value mediated by machinery,* It points to a further problematic in which technology would take over some features of the money form.

15 In the nineteenth century, physiologists and political economists tried to figure out a 'metrology' of 'cerebral labour'; according to Schaffer, the attempts to quantify intelligence with the aid of instruments contributed to the project of artificial intelligence in the following century. See Simon Schaffer, 'OK Computer', in *Ecce Cortex: Beitraege zur Geschichte des modernen Gehirns*, ed. Michael Hagner, Göttingen: Wallstein Verlag, 1999, 254–85.

16 This visionary hypothesis did not emerge again in *Capital*, again as a result of historical circumstances. Notebooks 6 and 7 were written in the winter of 1857–58, amid a

financial crisis, whereas *Capital* was published after the crisis was over.

17 The primary sources of the complex debate on Marx's general intellect can be succinctly reconstructed as follows: Paolo Virno, 'Citazioni di fronte al pericolo', *Luogo comune* 1 (November 1990), translated by Cesare Casarino as 'Notes on the General Intellect', in *Marxism beyond Marxism*, ed. Saree Makdisi et al., New York: Routledge, 1996, 265–72; Christian Marazzi, *Il posto dei calzini: La svolta linguistica dell'economia e i suoi effetti sulla politica*, Torino: Bollati Boringhieri, 1994, translated by Giuseppina Mecchia as *Capital and Affects: The Politics of the Language Economy*, New York: Semiotext(e), 2011; Maurizio Lazzarato and Antonio Negri, 'Travail immatériel et subjectivité', *Futur antérieur* 6 (1991): 86–99; Paolo Virno, *Grammatica della Moltitudine*, Rome: Derive Approdi, 2002, translated by Isabella Bertoletti et al. as *A Grammar of the Multitude*, New York: Semiotext(e), 2004; Carlo Vercellone, 'From Formal Subsumption to General Intellect: Elements for a Marxist Reading of the Thesis of Cognitive Capitalism', *Historical Materialism* 15, no. 1 (2007): 13–36. Probably the first reception of this debate in English is Nick Dyer-Witheford, *Cyber-Marx: Cycles and Circuits of Struggle in High-Technology Capitalism*, Champaign: University of Illinois Press, 1999. See Michael Hardt and Antonio Negri, *Empire*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2000. For a critique of *operaismo*'s interpretation, see Michael Heinrich, 'The Fragment on Machines: A Marxian Misconception in the *Grundrisse* and Its Overcoming in *Capital*', and Tony Smith, 'The General Intellect in the *Grundrisse* and Beyond', *In Marx's Laboratory: Critical Interpretations of the Grundrisse*, ed. Riccardo Bellofiore et al., Leiden: Brill, 2013, 195–212, 213–31.

18 See Paul Mason, 'The End of Capitalism Has Begun', *Guardian*, 17 July 2015; and Paul Mason, *Postcapitalism: A Guide to Our Future*, London: Macmillan, 2016. See also MacKenzie Wark, *General Intellects*, London: Verso, 2017.

19 Martin Nicolaus, 'Foreword', in Marx, *Grundrisse*, 7.

20 Marcello Musto, 'Dissemination and Reception of the Grundrisse in the World', in *Karl Marx's Grundrisse*, ed. Marcello Musto, London: Routledge, 2008, 207–16.

21 Karl Marx, 'Frammento sulle macchine', trans. Renato Solmi, *Quaderni Rossi* 4 (1964).

22 Herbert Marcuse, *One-Dimensional Man*, Boston: Beacon Press, 1964, 39.

23 Gilles Deleuze and Félix Guattari, *Anti-Oedipus: Capitalism and Schizophrenia*, vol. 1, trans. Robert Hurley et al., Minneapolis: University of Minnesota Press, 1983, 232n76. See also Matteo Pasquinelli, 'Italian Operaismo and the Information Machine', *Theory, Culture and Society* 32, no. 3 (2015).

24 Karl Marx, 'Notes on Machines', *Economy and Society* 1, no. 3 (1972).

25 Virno, 'Notes'.

26 Wolfgang Fritz Haug warned that the nebulous origins of the general intellect contributed to a sloganistic use 'at the cost of theoretical arbitrariness'. The general intellect belongs, Haug asserts, to a galaxy of similar Marxian terms to be taken in consideration, such as 'general social labour', 'general scientific labour', 'accumulation of knowledge and of skill, the general productive forces of the human brain', 'general progress', 'development of the general powers of the human head', 'general social knowledge', 'social intellect'. Wolfgang Fritz Haug, 'Historical-Critical Dictionary of Marxism: General Intellect', *Historical Materialism* 18, no. 2 (2010).

27 Virno, 'Notes'.

28 Babbage, *On the Economy of Machinery*, vi.

29 Simon Schaffer, 'Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System', *Critical inquiry* 21, no. 1 (1994), 204.

30 Babbage, *On the Economy of Machinery*, as quoted in Karl Marx, *The Poverty of Philosophy*, Moscow: Progress Publishers, 1955, 121.

31 Marx, *Grundrisse*, 704.

32 Marx, *Capital*, 495.

33 Ibid., 497.

34 See Gideon Freudenthal and Peter McLaughlin (eds), *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution: Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann*, Berlin: Springer, 2009.

35 'An increase in the size of the machine and the number of its working tools calls for a more massive mechanism to drive it; and this mechanism, in order to overcome its own inertia, requires a mightier moving power than that of man.' Marx, *Capital*, 497.

36 Marx is mistakenly considered a *techno-determinist* for the prominence he grants to machinery in capitalism, but if he is determinist at all, he is a determinist of the *relations of production* and not of the *means of production*, as the division of labour, and not technology, is the driving force of capital. 'The inclusion of labor power as a force of production thus admits conscious human agency as a determinant of history: it is people, as much as or more than the machine, that make history.' Donald MacKenzie, 'Marx and Machine', *Knowing Machines*, Cambridge, MA: MIT Press, 1998, 26.

37 Marx, *Capital*, 496.

38 Ibid., 507.

39 For the idea of analytical intelligence, see Lorraine Daston, 'Calculation and the Division of Labour, 1750–1950', *Bulletin of the German Historical Institute* 62 (Spring 2018): 9–30.

40 Marx, *Capital*, 284.

41 Hodgskin gave great importance to observation (i.e., mental design) in the invention of machinery.

42 Marx, *Capital*, 545.

43 Robert Owen, 'Essays on the Formation of the Human Character' (1840), as quoted in Marx, *Grundrisse*, 711.

44 Marx, *Grundrisse*, 702. Marx also quotes Hodgskin at 709: 'As soon as the division of labour is developed, almost every piece of work done by a single individual is a part of a whole, having no value or utility of itself. There is nothing on which the labourer can seize: this is my produce, this I will keep to myself.'

45 Simon Schaffer, 'Babbage's Dancer and the Impresarios of Mechanism', in *Cultural Babbage*, ed. Francis Spufford and Jenny Uglow, London: Faber & Faber, 1997, 53–80.

46 Marx, *Grundrisse*, 692–3.

47 Marx, *Capital*, 482.

48 Ibid., 483. Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 274.

49 Thompson, *Principles of the Distribution of Wealth*, 272.

50 Ibid., 292.

51 Ibid., 272–362.

52 Ibid., 303.

53 Adam Ferguson, as quoted by Marx in *Capital*, 483. Marx cites Ferguson also for recognising as early as 1767 that 'thinking itself, in this age of separations, may become a

peculiar craft'. Marx, *Capital*, 484.

54 Marx, *Grundrisse,* 706. The terms marked by asterisks appear in English in the original manuscript.

55 Marx, *Capital*, 549.

56 Marx, *Grundrisse*, 694.

57 Hodgskin, *Popular Political Economy*, 45, 47.

58 Ibid., 47.

59 'Easy labour is transmitted skill.' Ibid., 48.

60 'Hodgskin called circulating capital a "fiction". Fixed capital was the stored-up skill of past labour.' Maxine Berg, *The Machinery Question and the Making of Political Economy*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980, 274.

61 Marx, *Grundrisse*, 700.

62 Ibid., 706.

63 Marx, *Capital*, 469. The Penguin edition wrongly says 'Ch. 19, pp. 175' of Babbage's book: it is chapter 18, page 137.

64 Marx, *Capital*, 468–9.

65 See Henning Schmidgen, '1818: Der Frankenstein-Komplex', afterword to Bruno Latour, *Aramis: oder Die Liebe zur Technik*, trans. Gustav Roßler, Heidelberg: Mohr Siebeck, 2018, 303–19.

66 Marx, *Capital*, 481.

67 Marx, *Grundrisse*, 705.

68 Heinrich, 'Fragment on Machines', 197.

69 'One great advantage which we may derive from machinery is from the check which it affords against the inattention, the idleness, or the dishonesty of human agents.' Babbage, *On the Economy of Machinery*, 54.

70 Harry Braverman, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*, New York: Monthly Review Press, 1974.

71 For the notion of the micro-decision, see Romano Alquati, 'Composizione organica del capitale e forza-lavoro alla Olivetti', part 2, *Quaderni Rossi* 3 (1963). Partially translated in Matteo Pasquinelli, 'Italian Operaismo and the Information Machine', *Theory, Culture, and Society* 32, no. 3 (2015): 55.

72 What in the following century will become the core of operationalism: management, logistics, and computer science. See Sandro Mezzadra and Brett Neilson, *The Politics of Operations: Excavating Contemporary Capitalism*, Durham, NC: Duke University Press, 2019.

73 See Antonio Negri, *Time for Revolution*, London: Continuum, 2003, 27.

74 See Peter Damerow and Wolfgang Lefèvre, 'Tools of Science', in *Abstraction and Representation: Essays on the Cultural Evolution of Thinking*, ed. Peter Damerow, Dordrecht: Kluver, 1996, 395–404.

75 The idea that each machine establishes its own labour unit of measure constitutes a *machine theory of labour*, which cannot be expanded on here.

76 See Schaffer, 'Babbage's Intelligence'.

77 See Antonio Negri, 'The Re-Appropriation of Fixed Capital: A Metaphor?', in *Digital Objects, Digital Subjects*, ed. David Chandler and Christian Fuchs, London: University of Westminster Press, 2019, 205–14; Frederic Jameson, *An American Utopia: Dual Power and the Universal Army*, London: Verso, 2016.

## 5. The Abstraction of Labour

1 'La cibernetica ricompone globalmente e organicamente le funzioni dell'operaio complessivo polverizzate nelle microdecisioni individuali: il "bit" salda l'atomo operaio alle "cifre" del "Piano".' Romano Alquati, 'Composizione organica del capitale e forzalavoro alla Olivetti', part 2, *Quaderni Rossi* 3 (1963): 134, my translation.

2 Gilbert Simondon, 'Technical Mentality', *Parrhesia* 7 (2009): 20, originally published as 'Mentalité technique', *Revue Philosophique de la France et de l'étranger* 131, no. 3 (2006): 343–57.

3 See Henning Schmidgen, 'Thinking Technological and Biological Beings: Gilbert Simondon's Philosophy of Machines', *Revista do Departamento de Psicologia UFF* 17 (2005): 11–18.

4 Andreas Malm, 'The Origins of Fossil Capital: From Water to Steam in the British Cotton Industry', *Historical Materialism* 21, no. 1, (2013): 15–68.

5 Ibid., 18.

6 Abstract movement could be defined also as abstract labour, as Hegel did originally in the Jena lectures: see below. See also the critique of Sohn-Rethel in chapter 8.

7 James Beniger, *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1986, 17.

8 Georg Wilhelm Friedrich Hegel, *Hegel and the Human Spirit: A Translation of the Jena Lectures on the Philosophy of Spirit (1805-6)*, ed. and trans. Leo Rauch, Detroit: Wayne State University Press, 1983, 121.

9 G. W. F. Hegel, *Elements of the Philosophy of Right*, ed. Allen W. Wood, trans. H. B. Nisbet, Cambridge Texts in the History of Political Thought, Cambridge: Cambridge University Press, 1991, sections 198, 232–3. See also the third part of the *Encyclopaedia of the Philosophical Sciences*: G. W. F. Hegel, *Hegel's Philosophy of Mind*, ed. and trans. William Wallace, Oxford: Clarendon Press, 1894, §526, 123.

10 Marx, *Capital,* 137.

11 Beniger, *Control Revolution*, 6.

12 Alquati, 'Composizione organica del capitale'. See, in particular, Matteo Pasquinelli, 'Italian Operaismo and the Information Machine', *Theory, Culture and Society* 32, no. 3 (2015): 49–68.

13 'L'informazione è l'essenziale della forza-lavoro, è ciò che l'operaio attraverso il capitale costante trasmette ai mezzi di produzione sulla base di valutazioni, misurazioni, elaborazioni per operare nell'oggetto di lavoro tutti quei mutamenti della sua forma che gli danno il valore d'uso richiesto.' Alquati, 'Composizione organica del capitale', 121, my translation.

14 'Il *lavoro produttivo si* definisce nella qualità delle informazioni elaborate e trasmesse dall'operaio ai *mezzi di produzione*, con la mediazione del *capitale costante* in modo tendenzialmente *indiretto*, ma completamente *socializzato*.' Alquati, 'Composizione organica del capitale', 121, my translation.

15 Alquati, 'Composizione organica del capitale', 134, my translation.

16 Mario Tronti, *Workers and Capital*, London: Verso, 2019, 26.

17 'Il capitale è sempre lavoro sociale accumulato, la macchina è sempre lavoro sociale incorporato. Ovvio. Ogni "nuova macchina", ogni innovazione esprime il livello generale e la qualità dei rapporti di forza fra le classi in quel momento.' Alquati, 'Composizione organica del capitale', 89, my translation.

18 On energy and information as metrics of labour, see Matteo Pasquinelli, 'Labour, Energy, and Information as Historical Configurations: Notes for a Political Metrology of the Anthropocene', *Journal of Interdisciplinary History of Ideas* 11, no. 22 (2023).

19 Ralph V. Hartley, 'Transmission of Information', *Bell System Technical Journal* 7 (1928). See also: Bernard D. Geoghegan, 'Information', in *Digital Keywords: A Vocabulary of Information Society and Culture*, ed. Benjamin Peters, Princeton: Princeton University Press, 2016, 173–83.

## 6. The Self-Organisation of the Cybernetic Mind

1 Simon Schaffer, 'OK Computer', in *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*, ed. Michael Hagner, Frankfurt: Fischer, 2001, 393–429.

2 Emil Du Bois-Reymond, 'Über thierische Bewegung' (1887), 2 vols., translated by Laura Otis in 'The Metaphoric Circuit: Organic and Technological Communication in the Nineteenth Century', *Journal of the History of Ideas* 63, no. 1 (2002): 105.

3 J. G. Ballard, *The Atrocity Exhibition*, annotated ed., San Francisco: Re:Search, 1990, 44n.

4 Warren McCulloch and Walter Pitts, 'A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity', *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5 (1943): 115–33. Artificial neural networks were discussed as an architecture of computation well before the term 'artificial intelligence' was introduced. Turing began to speculate about intelligent machinery in 1947, while McCarthy coined the term 'artificial intelligence' in 1955 (see the introduction of this book). Alan Turing, 'Lecture to the London Mathematical Society', 20 February 1947, in *Collected Works*, vol. 1, North-Holland Publishing Company, 1985; Christof Teuscher, *Turing's Connectionism: An Investigation of Neural Network Architectures*, Berlin: Springer, 2012, viii.

5 Margaret Boden regards McCulloch and Pitts's paper as an 'abstract manifesto for computational psychology', a founding text for the both the lineages of connectionist and symbolic AI. Margaret Boden, *Mind as Machine: A History of Cognitive Science*, Oxford: Oxford University Press, 2006, 190.

6 Andrew Pickering, *The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future*, Chicago: University of Chicago Press, 2010; Andrew Pickering, 'A Gallery of Monsters: Cybernetics and Self-Organization, 1940–1970', in *Mechanical Bodies, Computational Minds*, ed. Stefano Franchi and Güven Güzeldere, Cambridge, MA: MIT Press, 2005, 229–45.

7 'To see how neurons might represent logical assertions, consider two examples. Suppose that both A and B are excitatory fibres, and that a pulse travelling along either suffices to cross the synaptic gap. This physical situation corresponds to the formal statement, "If either A or B is true, then C is true."' Steve Heims, *The Cybernetics Group*, Cambridge, MA: MIT Press, 1991, 42.

8 Claude Shannon, 'A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits', *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 57, no. 12 (1938): 713–23.

9 Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, New York: Wiley, 1951, 45.

10 See Laura Otis, 'The Metaphoric Circuit: Organic and Technological Communication in the Nineteenth Century', *Journal of the History of Ideas* 63, no. 1 (2002): 105–28. See also Laura Otis, *Networking: Communicating with Bodies and Machines in the Nineteenth Century*, Ann Arbor: University of Michigan Press, 2001; and Christoph Hoffmann,

'Helmholtz' Apparatuses: Telegraphy as Working Model of Nerve Physiology', *Philosophia Scientiae* 7, no. 1 (2003): 129–49.

11 See also Michael Castelle, 'Deep Learning as an Epistemic Ensemble', 2018, castelle.org.

12 J. E. Lovelock, 'Gaia as Seen through the Atmosphere', *Atmospheric Environment* 6, no. 8 (1972): 579–80.

13 Gregoire Nicolis and Ilya Prigogine, *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*, New York: Wiley, 1977.

14 Langdon Winner, *Autonomous Technology: Technics-Out-of-Control as a Theme in Political Thought*, Cambridge, MA: MIT Press, 1978.

15 Evelyn Fox Keller, 'Organisms, Machines, and Thunderstorms: A History of Self-Organization', part 1, *Historical Studies in the Natural Sciences* 38, no. 1 (2008): 45–75.

16 'In such a natural product as this every part is thought as *owing* its presence to the agency of all the remaining parts, and also as existing *for the sake of the others* and of the whole, that is as an instrument, or organ … The part must be an organ *producing* the other parts – each, consequently, reciprocally producing the others … Only under these conditions and upon these terms can such a product be an *organized* and *self-organized being*, and, as such, be called a *physical end*.' Immanuel Kant, *Critique of Judgement*, 1790, quoted in Keller, 'Organisms, Machines, and Thunderstorms', part 1, 49.

17 Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener, and Julian Bigelow, 'Behaviour, Purpose and Teleology', *Philosophy of Science* 10, no. 1 (1943): 18–24.

18 This is the subtle difference between the two information theories by Weiner and Shannon (analogue and digital, respectively). See Ronald Kline, *The Cybernetics Moment: Or Why We Call Our Age the Information Age,* Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2015.

19 As Turing defined them, 'discrete state machines … are the machines which move by sudden jumps or clicks from one quite definite state to another'. Alan Turing, 'Computing Machinery and Intelligence', *Mind* 59, no. 236 (October 1950), in *Essential Turing: Seminal Writings in Computing, Logic, Philosophy, Artificial Intelligence, and Artificial Life*, ed. B. Jack Copeland, Oxford: Oxford University Press, 446.

20 For a portrait of Ashby and his homeostat see Pickering, 'A Gallery of Monsters'.

21 Ross Ashby, 'Principles of the Self-organizing Dynamic System', *Journal of General Psychology* 37 (1947): 125–8.

22 Grey Walter, *The Living Brain*, London: Duckworth, 1953, 123; Pickering, *The Cybernetic Brain*, 164.

23 Ross Ashby, 'Principles of the Self-Organizing System', in *Principles of Self-Organization*, ed. Heinz von Foerster and George Zopf, New York: Pergamon Press, 1962, 255, 257.

24 Donald Hebb, *The Organisation of Behavior*, New York: Wiley & Sons, 1949. In this book Hebb defined his theory of neuroplasticity as 'connectionist' – a term later repurposed by Frank Rosenblatt to define 'connectionism' as the paradigm of artificial neural networks; see chapter 9.

25 Hebb, *Organisation of Behavior*, 63–70.

26 It was Erwin Schrödinger's 1943 lecture 'What Is Life?', in particular, that inspired a link between the negative entropy of photosynthesis and the self-reproduction of life through a code (DNA had not yet been discovered). See also Peter Asaro, 'Heinz von

Foerster and the Bio-Computing Movements of the 1960s', in *An Unfinished Revolution? Heinz von Foerster and the Biological Computer Laboratory 1958–1976*, ed. Albert Müller and Karl H. Müller, Vienna: Edition Echoraum, 2007.

27 See also Alex Galloway, 'Creative Evolution: Nils Aall Barricelli's Mathematical Organisms', *Cabinet* 42 (Summer 2011).

28 Konrad Zuse, 'Rechnender Raum', in *Elektronische Datenverarbeitung* 8 (1967), translated as *Calculating Space*, Cambridge, MA: MIT Technical Translation, 1970.

29 Zuse, *Calculating Space*, 5.

30 Alan Turing, 'The Chemical Basis of Morphogenesis', *Philosophical Transactions of the Royal Society B.* 237, no. 641 (1952).

31 See Paul Erickson et al., *How Reason Almost Lost Its Mind: The Strange Career of Cold War Rationality*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

32 The conference was also attended by the representatives of symbolic AI – Allen Newell, Cliff Shaw, and Herbert Simon. See Stephanie Dick, 'Of Models and Machines: Implementing Bounded Rationality', *Isis* 106, no. 3 (2015): 623–34. See also Shunryu Garvey, 'The "General Problem Solver" Does Not Exist: Mortimer Taube and the Art of AI Criticism', *IEEE Annals of the History of Computing* (2021): 60–73.

33 Marshall Yovits and Scott Cameron (eds), *Self-Organizing Systems*, New York: Pergamon Press, 1960, v–vi.

34 Gordon Pask, 'Natural History of Networks', in ibid., 232.

35 For McCulloch the brain had to be treated as an organisation of information abstracted from any energetic and material dimension: Warren McCulloch, 'The Reliability of Biological Systems', in Yovits and Cameron, *Self-Organizing Systems,* 265.

36 Heinz von Foerster and George Zopf (eds), *Principles of Self-Organization*, New York: Pergamon Press, 1962.

37 Ibid., ix.

38 See Andrew Pickering, 'The Science of the Unknowable: Stafford Beer's Cybernetic Informatics', *Kybernetes* (2004); Eden Medina. *Cybernetic Revolutionaries: Technology and Politics in Allende's Chile*, Cambridge, MA: MIT Press, 2014.

39 Frank Rosenblatt, 'Perceptual Generalization over Transformation Groups', in Yovits and Cameron, *Self-Organizing Systems*, 95.

40 By comparison, Oliver Selfridge's Pandemonium network relied on handcrafted nodes to extract predetermined features. Oliver G. Selfridge, 'Pandemonium: A Paradigm for Learning', *Proceedings of the Symposium on the Mechanization of Thought Processes* 1 (1959): 511–29.

41 Hubert Dreyfus and Stuart Dreyfus, 'Making a Mind versus Modeling the Brain: Artificial Intelligence Back at a Branchpoint', *Daedalus* 117 (1988): 15–44.

42 'The neuron, as well as the vacuum tube … are then two instances of the same generic entity, which it is customary to call a *switching organ* or *relay organ* … The basic switching organs of the living organisms, at least to the extent to which we are considering them here, are the neurons. The basic switching organs of the recent types of computing machines are vacuum tubes; in older ones they were wholly or partially electro-mechanical relays.' John von Neumann, 'The General and Logical Theory of Automata', in Jeffress, *Hixon Symposium*, 12.

43 For the expression 'machine semiotics' see chapter 2 of this book and Simon Schaffer, 'Babbage's Calculating Engines and the Factory System', *Réseaux* 4, no. 2 (1996):

280. Herbert Simon tried to define 'the sciences of the artificial' in the homonymous book, but the result is far from rigorous. Herbert Simon, *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

44 Warren McCulloch to Hans Lukas Teuber, 10 December 1947. Quoted in Ronald R. Kline, *The Cybernetics Moment: Or Why We Call Our Age the Information Age*, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2015, 46. The term 'robot' derives from the feudal-era Czech word for 'servant'.

45 Respectively, information theory was introduced by Shannon in 1948, cybernetics by Wiener in 1948, artificial intelligence by McCarthy in 1955, machine learning by Arthur Samuel in 1959, and computer science by George Forsythe only in 1961. See George Forsythe, 'Engineering Students Must Learn Both Computing and Mathematics', *Journal of Engineering Education* 52 (1961); and, in particular, Donald Knuth, 'George Forsythe and the Development of Computer Science', *Communications of the ACM* 15 (1972). For the other references see above.

46 For an opposite reading, see Friedrich Kittler's thesis that World War II was the main driving force behind the development of the digital computer. See Geoffrey Winthrop-Young, 'Drill and Distraction in the Yellow Submarine: On the Dominance of War in Friedrich Kittler's Media Theory', *Critical Inquiry* 28, no. 4 (2002): 825–54.

47 Norbert Weiner, *The Human Use of Human Beings*, Boston: Houghton Mifflin, 1950, 71.

48 Fred Turner, *From Counterculture to Cyberculture: Stewart Brand, the Whole Earth Network, and the Rise of Digital Utopianism*, Chicago: University of Chicago Press, 2010, 11.

49 Ibid., 11.

50 See Pickering, *The Cybernetic Brain.*

51 Richard Brautigan, *All Watched Over by Machines of Loving Grace*, San Francisco: Communication Company, 1967.

52 In early research, the German system theorist Niklas Luhmann noticed that the institutional order had to face the growing normative role of technical apparatuses: Niklas Luhmann, *Recht und Automation in der öffentlichen Verwaltung: Eine verwaltungswissenschaftliche Untersuchung*, Berlin: Duncker & Humblot, 1966.

53 See Stuart G. Shanker, *Wittgenstein's Remarks on the Foundations of AI*, London: Routledge, 1998.

54 James Beniger, *The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1986.

55 Mario Tronti, 'Postscript of Problems', in *Operai e capitale*, 2nd ed., Torino: Einaudi, 1971, translated as *Workers and Capital,* London: Verso, 2019, 294. See also Raniero Panzieri, 'Sull'uso capitalistico delle macchine nel neocapitalismo', *Quaderni Rossi* 1 (1961): 53–72.

56 See also Matteo Pasquinelli, 'Abnormal Encephalization in the Age of Machine Learning', *e-flux* 75 (September 2016).

57 For an overview of the ideas of the social brain and collective intelligence in contemporary political theory, see Charles Wolfe, 'The Social Brain: A Spinozist Reconstruction', *ASCS*, Proceedings of the Ninth Conference of the Australasian Society for Cognitive Science, 2009, 366–74.

## 7. The Automation of Pattern Recognition

1 Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, New York: Wiley, 1951, 42.

2 Ibid., 24.

3 See Claus Pias (ed.), *Cybernetics: The Macy Conferences 1946–1953; The Complete Transactions*, Berlin: diaphanes, 2016; Steve Heims, *The Cybernetics Group*, Cambridge, MA: MIT Press, 1991, chaps. 9–10. Steve Heims called it the 'Gestalten go to bits' controversy.

4 See Mitchell G. Ash, *Gestalt Psychology in German Culture, 1890–1967: Holism and the Quest for Objectivity*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

5 The German term 'Gestalt' is often translated in English as 'form', although German possesses the distinctive word *Form.* The best English translation is probably 'configuration', which is a form understood in its general structure and internal implications. The term 'pattern recognition' was popularised by *Scientific American* in 1960: Oliver G. Selfridge and Ulric Neisser, 'Pattern Recognition by Machine', *Scientific American* 203, no. 2 (1960): 60–9. See also William D. Rowe, 'Gestalt Pattern Recognition with Arrays of Predetermined Neural Functions', in *International Joint Conference on Artificial Intelligence* (1969): 117–40.

6 Paul Virilio used the expressions 'automation of perception' and 'artificial vision' in relation to the neural network perceptron in *The Vision Machine*, Indiana University Press, 1994. See chapter 9 of this book.

7 For the whole proceedings, see Jeffress, *Hixon Symposium*.

8 Nils John Nilsson, *The Quest for Artificial Intelligence*, Cambridge: Cambridge University Press, 2009, 52. McCarthy only cultivated an interest in propositional logic. In 1979, he was still keen to clarify that 'machines as simple as thermostats can be said to have beliefs'. John McCarthy, 'Ascribing Mental Qualities to Machines', in *Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence*, ed. Martin Ringle, Atlantic Highlands, NJ: Humanities Press, 1979.

9 Heims, *Cybernetics Group*, 241.

10 Google researcher François Chollet has designed the Abstract and Reasoning Corpus (ARC) as a visual test that is deemed simple for humans but still difficult even for current large AI models to solve. Without acknowledging it, ARC covers tasks such as image completion with limited information that had previously been canonised by the Gestalt school as part of their *Prägnanz* principles. See François Chollet, 'On the Measure of Intelligence', preprint (2019), arxiv.org. See also Hannes Bajohr, 'The Gestalt of AI: Beyond the Holism-Atomism Divide', *Interface Critique* 3 (2021): 13–35.

11 On the theoretical background of McCulloch and Pitts, see Tara Abraham, '(Physio)logical Circuits: The Intellectual Origins of the McCulloch–Pitts Neural Networks', *Journal of the History of Behavioural Science* 38, no. 1 (2002): 3–25.

12 At the time of the Gestalt controversy, the digital computer was still an experimental idea and not a technical convention taken for granted. Statements such as 'the human brain is a computer' and 'a computer can think' had a different meaning then than they do now. The design of the computer was in fact resolved *after* the idea of artificial neural networks was introduced. Thomas Haigh and Mark Priestley have also noted that the influence of the Turing machine model on the actual design of the computers is overestimated. Von Neumann was among the first to propose a viable design for the Turing machine, which has since become known as the 'von Neumann architecture'. However,

according to Haigh and Mark, von Neumann mostly copied McCulloch and Pitts's 'biological language' in describing the EDVAC computer in 1945. He called the main components of the EDVAC 'organs' and its storage 'memory', and deployed 'an abstract neuron-inspired notation to represent computing circuits'. See Thomas Haigh and Mark Priestley, 'Von Neumann Thought Turing's Universal Machine Was "Simple and Neat", but That Didn't Tell Him How to Design a Computer', *Communications of the ACM* 63, no. 1 (2019): 26–32; and John von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, Urbana: University of Illinois Press, 1966, 45.

13 Heims, *Cybernetics Group*, 224, 231.

14 Warren McCulloch and Walter Pitts, 'How We Know Universals: The Perception of Auditory and Visual Forms', *Bulletin of Mathematical Biophysics* 9, no. 3 (1947): 127–47.

15 McCulloch and Pitts, 'How We Know Universals', 127.

16 Ibid.

17 It is also for this reason that Kölher accused McCulloch and Pitts's neural model of old-school 'dualism'. Jeffress, *Hixon Symposium*, 69.

18 McCulloch and Pitts, 'How We Know Universals'.

19 Originally formulated by Kurt Koffka. Köhler, *Principles of Gestalt Psychology*, New York: Harcourt & Brace, 1935, 176.

20 Wolfgang Köhler, 'Relational Determination in Perception', in Jeffress, *Hixon Symposium*, 200.

21 Heims, *Cybernetics Group*, 108.

22 See Köhler's comment to McCulloch in Jeffress, *Hixon Symposium*, 66.

23 Wolfgang Köhler, 'Review of *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* by Norbert Wiener', *Social Research* 18, no. 1 (1951): 127. On isomorphism, see Abraham Luchins and Edith Luchins, 'Isomorphism in Gestalt Theory: Comparison of Wertheimer's and Köhler's concepts', *Gestalt Theory* 21, no. 3 (1999): 208–34.

24 Wolfgang Köhler, *The Place of Value in a World of Facts*, New York: Liveright, 1938, 217. See Wolfgang Köhler, *Dynamics in Psychology*, New York: Liveright, 1940.

25 'If it were really demonstrated that pattern vision is a matter of continuity physics, then we should be seriously tempted to believe that this holds also for analogous facts in other parts of psychology. Just because I realize that we are dealing with a major problem of psychophysics in general, I feel inclined to move slowly. It may be that the cortical correlate of pattern vision has now become accessible to experimentation. But we can not yet be sure that it has.' See Köhler, 'Relational Determination in Perception', 229.

26 On organicism and plasticity see Kurt Goldstein, *Der Aufbau des Organismus: Einführung in die Biologie unter besonderer Berücksichtigung der Erfahrungen am kranken Menschen*, Den Haag: Nijhoff, 1934, translated as *The Organism: A Holistic Approach to Biology Derived from Pathological Data in Man*, New York: American Book Company, 1939.

27 Norbert Wiener, 'Some Maxims for Biologists and Psychologists' (1950), in *Collected Works with Commentaries*, vol. 4, *Cybernetics, Science, and Society*; *Ethics, Aesthetics, and Literary Criticism; Book Reviews and Obituaries*, ed. P. Masini, Cambridge, MA: MIT Press, 1985, 454–6.

28 Norbert Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MA: MIT Press, 1961 [1948], 120.

29 Köhler, 'Review of *Cybernetics*', 128.

30 J. Y. Lettvin et al., 'What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain', *Proceedings of the IRE* 47, no. 11 (1959): 1940–51.

31 Ibid., 1943.

32 Ibid., 1950.

33 Ibid.

34 D. H. Hubel and T. N. Wiesel, 'Receptive Fields of Single Neurones in the Cat's Striate Cortex', *Journal of Physiology* 124, no. 3 (1959): 574–91.

35 Historian of science Peter Galison has investigated the relation between the 'mimetic' and 'logical' traditions in the construction of scientific images. See Peter Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago: University of Chicago Press, 1997.

36 David Bates, 'Creating Insight: Gestalt Theory and the Early Computer', in *Genesis Redux: Essays in the History and Theory of Artificial Life*, ed. Jessica Riskin, Chicago: University of Chicago Press, 2007, 237–59.

37 Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 37. See also John von Neumann, 'The General and Logical Theory of Automata', in Jeffress, *Hixon Symposium*, 3.

38 Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 46.

39 Ibid., 46–7.

40 John von Neumann, *The Computer and the Brain*, Silliman Memorial Lectures, New Haven, CT: Yale University Press, 1958, 80.

41 Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 73.

42 For the influence of this idea on the genesis of deep learning, see Yann LeCun et al., 'Optimal Brain Damage', in *Neural Information Processing Systems* 2 (1989): 598–605.

43 The chapter on the 'pathologies of machines' in Wiener's *Cybernetics* is an echo of these debates on neuroplasticity. See also Matteo Pasquinelli (ed.), *Alleys of Your Mind: Augmented Intelligence Trauma,* Lüneburg: Meson Press, Leuphana University, 2015, introduction; David Bates, 'Unity, Plasticity, Catastrophe: Order and Pathology in the Cybernetic Era', in *Catastrophe: History and Theory of an Operative Concept*, ed. Andreas Killen and Nitzan Lebovic, Berlin: De Gruyter, 2014, 252; Matteo Pasquinelli, 'What an Apparatus Is Not: On the Archeology of the Norm in Foucault, Canguilhem, and Goldstein', *Parrhesia* 22 (May 2015): 79–89.

44 Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 49. See also *The Computer and the Brain*, 63–8.

45 Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, report, Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1961, 10. On Lashley, see page 4.

46 Von Neumann, *The Computer and the Brain*, 82.

47 John von Neumann, 'The General and Logical Theory of Automata', in Jeffress, *Hixon Symposium*, 3.

48 Von Neumann, *The Computer and the Brain*, 2.

### 8. Hayek and the Epistemology of Connectionism

1 Friedrich Hayek, 'The Sensory Order after 25 Years', in *Cognition and the Symbolic Processes*, vol. 2, ed. W. B. Weimer and D. S. Palermo, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1982, 287–93. Originally a lecture delivered in 1977.

2 William Gibson, *Pattern Recognition*, New York: Putnam's Sons, 2003, 22.

3 Donald Hebb introduced the term 'connectionist' in his 1949 book *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*, New York: Wiley & Sons, 1949. Rosenblatt adopted the term in 1958 to define his theory of artificial neural networks: Frank Rosenblatt, 'The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain', *Psychological Review* 65, no. 6 (1958).

4 Friedrich Hayek, *The Sensory Order: An Inquiry into the Foundations of Theoretical Psychology*, Chicago: University of Chicago Press, 1952. *The Sensory Order* is a development of the manuscript 'Beiträge zur Theorie der Entwicklung des Bewusstseins' ('Contributions to the Theory of the Development of Consciousness') which Hayek wrote in German as early as 1920.

5 Hayek, *The Sensory Order*, chapter 3, 55.

6 Rosenblatt, 'The Perceptron'.

7 See Friedrich Hayek, 'Scientism and the Study of Society' part 1, *Economica* 9, no. 35 (1942): 267–91; Friedrich Hayek, 'The Theory of Complex Phenomena', in *The Critical Approach to Science and Philosophy: Essays in Honor of Karl R. Popper*, ed. Mario A. Bunge, New York: The Free Press of Glencoe, 1964; Friedrich Hayek, 'Rules, Perception and Intelligibility', *Proceedings of the British Academy* 48 (1963): 321–44; Friedrich Hayek, 'The Primacy of the Abstract', in *Beyond Reductionism: The Alpbach Symposium*, ed. Arthur Koestler and J. R. Smythies, London: Hutchinson, 1969.

8 Discussing Hayek's legacy in the conceptualisation of information, Philip Mirowski and Edward Nik-Khah have noticed that 'the place of information in economics was broached in heated disputes over the politics and possibilities of socialism'. Philip Mirowski and Edward Nik-Khah, *The Knowledge We Have Lost in Information: The History of Information in Modern Economics*, Oxford: Oxford University Press, 2017, 65.

9 See Hayek's 1977 visit to Chile and the meeting with the dictator Augusto Pinochet.

10 On Cold War rationality, see Paul Erickson et al., *How Reason Almost Lost Its Mind: The Strange Career of Cold War Rationality*, Chicago: University of Chicago Press, 2013.

11 Slava Gerovitch, 'InterNyet: Why the Soviet Union Did Not Build a Nationwide Computer Network', *History and Technology* 24, no. 4 (December 2008): 335–50.

12 Hayek, 'The Sensory Order after 25 Years'.

13 See Francesco Di Iorio, *Cognitive Autonomy and Methodological Individualism: The Interpretative Foundations of Social Life*, Berlin: Springer, 2015; Francesco Di Iorio, 'The Sensory Order and the Neurophysiological Basics of Methodological Individualism', in *The Social Science of Hayek's the Sensory Order: Advances in Austrian Economics*, vol. 13, ed. William N. Butos, London: Emerald, 2010.

14 Friedrich Hayek, 'The Use of Knowledge in Society', *American Economic Review* 35, no. 4 (1945): 519–30.

15 Mirowski and Nik-Khah, *The Knowledge*, 63.

16 Walther Riese and Ebbe C. Hoff, 'A History of the Doctrine of Cerebral Localization: Sources, Anticipations, and Basic Reasoning', *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* 5, no. 1 (1950): 50–71.

17 Kurt Goldstein, *The Organism: A Holistic Approach to Biology Derived from Pathological Data in Man*, New York: American Book Company, 1939. On Goldstein's influence on cybernetics, see David Bates, 'Creating Insight: Gestalt Theory and the Early Computer', in *Genesis Redux: Essays in the History and Philosophy of Artificial Life* (2007):

237–59. On Goldstein's influence on French philosophy, see Matteo Pasquinelli, 'What an Apparatus Is Not: On the Archeology of the Norm in Foucault, Canguilhem, and Goldstein', *Parrhesia* 22 (May 2015).

18 Hayek, *The Sensory Order*, 148.

19 'The main difficulty with the memory organ is that it appears to be nowhere in particular. It is never very simple to locate anything in the brain, because the brain has an enormous ability to re-organize. Even when you have localized a function in a particular part of it, if you remove that part, you may discover that the brain has reorganized itself, reassigned its responsibilities, and the function is again being performed. The flexibility of the brain is very great, and this makes localization difficult. I suspect that the memory function is less localized than anything else.' Von Neumann, *Theory of Self Reproducing Automata*, 49. See also von Neumann, *The Computer and the Brain*, 63–8.

20 Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, report, Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1961, 10. On Lashley: 4. See Karl Lashley, 'The Relation between Mass Learning and Retention', *Journal of Comparative Neurology* 41, no. 1 (1926): 1–58; Karl Lashley, *Brain Mechanisms and Intelligence*, Chicago: University of Chicago Press, 1929.

21 Tacit knowledge is expressed in skills that are difficult to verbalise and transmit: for example, riding a bicycle or playing a musical instrument. See Michael Polanyi, *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, Chicago: University of Chicago Press, 1958.

22 Gilbert Ryle, 'Knowing How and Knowing That: The Presidential Address', in *Proceedings of the Aristotelian Society*, vol. 46, Aristotelian Society, New York: Wiley, 1945, 1–16. See also Hayek, 'The Primacy of the Abstract', in Koestler and Smythies, *Beyond Reductionism*.

23 Friedrich Hayek, 'Rules, Perception, and Intelligibility', *Proceedings of the British Academy* 48 (1962), reprinted in Friedrich Hayek, *Studies in Philosophy, Politics, and Economics*, London: Routledge, 1967, 44–5.

24 Hayek, 'Rules', 55.

25 Kurt Goldstein and Martin Scheerer, 'Abstract and Concrete Behavior: An Experimental Study with Special Tests', *Psychological Monographs* 53, no. 2 (1941). Goldstein's model of 'abstract attitude' or 'categorical behaviour', however, changed significantly in the 1960s.

26 Mirowski and Nik-Khah, *The Knowledge*, 68–9.

27 Hayek, 'Rules', 61.

28 Ibid.

29 See Matteo Pasquinelli, 'On the Origins of Marx's General Intellect', *Radical Philosophy* 2, no. 6 (Winter 2019): 43–56.

30 Hayek, *The Sensory Order*, 48.

31 Ibid.

32 See also Nicolò De Vecchi, 'The Place of Gestalt Psychology in the Making of Hayek's Thought', *History of Political Economy* 35, no. 1 (2003): 135–62.

33 Within the English tradition, Hayek mentioned N. R. Hanson, *Patterns of Discovery*, Cambridge: Cambridge University Press, 1958; G. H. Hardy, *Mathematician's Apology*, Cambridge: Cambridge University Press, 1941, 14: 'a mathematician, like a painter or poet, is a maker of patterns.'

34 Friedrich Hayek, 'The Theory of Complex Phenomena', in *The Critical Approach and Philosophy: Essays in Honor of K. R. Popper*, ed. M. Bunge, New York: The Free Press, 1964. The term 'pattern recognition' was popularised in Oliver G. Selfridge and Ulric Neisser, 'Pattern Recognition by Machine', *Scientific American* 203, no. 2 (1960): 60–9.

35 Later on, Hayek wrote also about 'patterns in multidimensional space'. Hayek, 'Rules', 53.

36 Hayek, 'Theory of Complex Phenomena'.

37 Hayek, 'Scientism and the Study of Society', 277.

38 Ibid., 269.

39 Ibid., 271–2.

40 On the notion of insight in the Gestalt school, see David Bates, 'Creating Insight: Gestalt Theory and the Early Computer', in *Genesis Redux: Essays in the History and Philosophy of Artificial Life*, ed. Jessica Riskin, Chicago: University of Chicago Press, 2007, 237–60.

41 For the saga of model thinking in the history of AI, see also Jean-Pierre Dupuy, *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*, Cambridge, MA: MIT Press, 2000.

42 Hayek, *The Sensory Order*, 16.

43 Arturo Rosenblueth and Norbert Wiener, 'The Role of Models in Science', *Philosophy of Science* 12, no. 4 (1945): 316–21.

44 Hayek, *The Sensory Order*, 145.

45 'Perceptrons are not intended to serve as detailed copies of any actual nervous system. They are simplified networks, designed to permit the study of lawful relationships between the organization of a nerve net, the organization of its environment, and the "psychological" performances of which the network is capable. Perceptrons might actually correspond to parts of more extended networks in biological systems; in this case, the results obtained will be directly applicable. More likely, they represent extreme simplifications of the central nervous system, in which some properties are exaggerated, others suppressed.' Rosenblatt, *Neurodynamics*, 28.

46 Friedrich Hayek, 'The Use of Knowledge in Society', *American Economic Review* 35, no. 4 (1945): 519–30.

47 Oskar Lange, 'The Computer and the Market', in *Socialism, Capitalism, and Economic Growth: Essays Presented to Maurice Dobb*, ed. C. H. Feinstein, Cambridge: Cambridge University Press, 1967, 158–61.

48 Ibid., 161.

49 Leigh Phillips and Michal Rozworski, *The People's Republic of Walmart: How the World's Biggest Corporations Are Laying the Foundation for Socialism*, London: Verso, 2019. See also Fredric Jameson, *Archaeologies of the Future: The Desire Called Utopia and Other Science Fictions*, London: Verso, 2005, 153n22.

50 Lange, 'The Computer and the Market', 159.

51 Marc Shell has noted the ironical coincidence that is contained in the expression 'electronic money' that happens to completely dematerialise the original valuable substance. See Marc Shell, *Money, Language, and Thought: Literary and Philosophical Economies from the Medieval to the Modern Era*, Berkeley: University of California Press, 1982.

52 For an extensive overview of Jean Piaget and Peter Damerow's epistemologies, see Jürgen Renn, *The Evolution of Knowledge: Rethinking Science for the Anthropocene*,

Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020.

53 Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, trans. Martin Nicolaus, London: Penguin, 1993, 101.

54 Ibid., 101.

55 Ibid., 296.

56 Labour represented in the value of a commodity is abstract labour, which is measured on the basis of socially necessary labour-time.

57 Ibid., 103–5.

58 Michael Hardt and Antonio Negri, *Commonwealth*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2009, 127.

### 9. The Invention of the Perceptron

1 'Rival', *New Yorker*, 6 December 1958, 44.

2 Frank Rosenblatt, 'Analytic Techniques for the Study of Neural Nets', *IEEE Transactions on Applications and Industry* 83, no. 74 (September 1964): 285.

3 Simon Schaffer, 'Easily Cracked: Scientific Instruments in States of Disrepair', *Isis* 102, no. 4 (2011): 707.

4 In 1949, *Time* magazine welcomed Ashby's homeostat with the same rhetoric: 'the closest thing to a synthetic brain so far designed by man.' 'The Thinking Machine', *Time*, 24 January 1949.

5 'New Navy Device Learns by Doing', *New York Times,* 8 July 1958.

6 'Rival', 44.

7 Frank Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*, Washington: Spartan Books, 1962, vii (originally published as Technical Report VG-1196-G-8, Cornell Aeronautical Laboratory, 15 March 1961).

8 See Nicholas Pryor, 'The Perceptron as an Adaptive Classification Device', US Naval Ordinance Laboratory, White Oak, Silver Spring, Maryland, November 1961.

9 See Frank Rosenblatt, 'The Perceptron: A Perceiving and Recognizing Automaton (Project PARA)' Report No. 85-460-1, Cornell Aeronautical Laboratory, 2 January 1957. See also the visual examples in Albert Murray, 'Perceptron Applications in Photo Interpretation', *Photogrammetric Engineering* 27, no. 4 (1961).

10 Pryor, 'Perceptron as an Adaptive Classification Device', 7.

11 John Hay, Ben Lynch, and David Smith, 'Mark I Perceptron Operators' Manual', Buffalo, NY: Cornell Aeronautical Laboratory, 1960, 1.

12 Ibid., 3. In the current denominations of machine learning, only the central layer counts, and the simple perceptron is termed a single-layer neural network.

13 Hay et al., 'Mark I Perceptron Operators' Manual'.

14 'All the sub-units are of a type which switch on and transmit excitation onward to the next layer only when the sum of their input excitation exceeds a certain threshold. For the Mark I, the input signals of the S-units are in the form of light, while for the rest of the units, the input signals are electrical.' Hay et al., 'Mark I Perceptron Operators' Manual'.

15 Hay et al., 'Mark I Perceptron Operators' Manual', 3.

16 Frank Rosenblatt, 'The Design of an Intelligent Automaton', *Research Trends, Cornell Aeronautial Laboratory* 6, no. 2 (1957): 4.

17 The perceptron training algorithm was inspired by the procedure already tested in B. G. Farley and W. Clark, 'Simulation of Self-Organizing Systems by Digital Computer', *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory* 4 (1954): 76–84.

18 Andrey Kurenkov, 'A Brief History of Neural Nets and Deep Learning', 27 September 2020, skynettoday.com.

19 Pryor, 'The Perceptron as an Adaptive Classification Device', 6.

20 'It can be shown that by a suitable organization of origin points, in which the spatial distribution is constrained … the A-units will become particularly sensitive to the location of contours, and performance will be improved.' Frank Rosenblatt, 'The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain', *Psychological Review* 65, no. 3 (1958): 404. This idea was also picked up by Minsky and Papert in their book *Perceptrons*, discussed below. See H. D. Block, Bruce Knight, and Frank Rosenblatt, 'Analysis of a Four-Layer Series-Coupled Perceptron', *Reviews of Modern Physics* 34 (January 1962): 135–42.

21 Rosenblatt, *Neurodynamics*, 515–16. David Hubel and Torsten Wiesel, 'Receptive Fields of Single Neurons in the Cat's Striate Cortex', *Journal of Physiology* 148, no. 3 (1959): 574–91.

22 Rosenblatt, 'The Perceptron: A Probabilistic Model', 405.

23 For a parody of the competition for military funding among the different AI research groups, see Louis Fein, 'The Artificial Intelligentsia', Wescon Technical Papers, vol. 7 (11.1, part 7) (1963), 1–7.

24 Frank Rosenblatt, 'Analytic Techniques for the Study of Neural Nets', *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers (AIEE) Joint Automatic Control Conference*, 1962, 91.

25 Rosenblatt, *Neurodynamics*, viii.

26 Ibid., 28.

27 For the role of technical implementation in symbolic AI, see Stephanie Dick, 'Of Models and Machines: Implementing Bounded Rationality', *Isis* 106, no. 3 (2015): 623–34.

28 See also Herbert Bruderer, 'The Birth of Artificial Intelligence: First Conference on Artificial Intelligence in Paris in 1951?', in *International Communities of Invention and Innovation*, Advances in Information and Communication Technology, vol. 491, ed. Arthur Tatnall and Leslie Christopher, Berlin: Springer, 2016.

29 Frank Rosenblatt, 'Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron', *Symposium on the Mechanization of Thought*, National Physical Laboratory, Teddington, UK, November 1958, vol. 1, H. M. Stationery Office, London, 1959.

30 Rosenblatt, 'Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron', 422.

31 Quoted in Rosenblatt, 'Two Theorems of Statistical Separability'.

32 Inspired by Kurt Goldstein's neuroplasticity and faculty of abstraction (see chapter 8), Rosenblatt also made a comparison between some behaviours of the perceptron and those of patients with brain damage. 'In its "symbolic behavior", the perceptron shows some striking similarities to Goldstein's brain-damaged patients.' Frank Rosenblatt, 'The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain', *Psychological Review* 65, no. 3 (1958): 404.

33 Other algorithms of statistical learning and multidimensional analysis such as Vladimir Vapnik's support vector machines were developed independently in the Soviet Union a few years after Rosenblatt's perceptron.

34 Other solutions to linearly separate a vector space exist. Support vector machines, for example, are algorithms that differ from artificial neural networks but aim to calculate similar hyperplanes in a multidimensional space.

35 For a history of statistical methods in pattern recognition, data science, and predictive analytics, see Matthew L. Jones, 'How We Became Instrumentalists (Again): Data Positivism since World War II', *Historical Studies in the Natural Sciences* 48, no. 5 (2018): 673–84.

36 'Machine Computes Tests', *Cornel Alumni News*, 1 December 1953.

37 Louis Leon Thurstone, *The Vectors of Mind: Multiple Factor Analysis for the Isolation of Primary Traits*, Chicago: University of Chicago Press, 1935; Louis Leon Thurstone, *Multiple-Factor Analysis: A Development and Expansion of the Vectors of Mind*, Chicago: University of Chicago Press, 1947.

38 Probably Rosenblatt was also influenced by the fact that 'pattern perception' is a common test in psychometrics. For examples of similarities between visual and non-visual data matrices, see Thurstone, *The Vectors of Mind.*

39 'The purpose of EPAC was to process data collected from a paid, six-hundred item survey of more than two-hundred Cornell undergraduates. The survey was conducted on paper and then fed into the computer. These data would be used to test the viability of Rosenblatt's k-coefficient against a novel baseline: the complex relations between personality type and familial relationships during a student's first twelve years of life. Survey questions pertained to personal relationships between a student, their parents and their siblings, as well as other permutations of that roster.' Jonathan Penn, 'Inventing Intelligence: On the History of Complex Information Processing and Artificial Intelligence in the United States in the Mid-Twentieth Century', PhD dissertation, Cambridge University, 2020, 89; Frank Rosenblatt, 'The K-Coefficient: Design and Trial Application of a New Technique for Multivariate Analysis', PhD dissertation., Cornell University, 1956.

40 'Editor Miscellany', *American Scientist* 42, no. 1 (January 1954): 32.

41 Gerd Gigerenzer, 'From Tools to Theories: A Heuristic of Discovery in Cognitive Psychology', *Psychological Review* 98, no. 2 (1991): 258, 255.

42 Schaffer has also noted that 'judgements that machines are intelligent have involved techniques for measuring brains' outputs. These techniques show how discretionary behaviour is connected with status of those who rely on intelligence for their social legitimacy.' Simon Schaffer, 'OK Computer', in *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*, ed. Michael Hagner, Frankfurt: Fischer, 2001, 393–429.

43 'In 1904 Spearman … showed that aptitude tests applied to children were highly correlated. He conceived the method of factor analysis in principal components, seeking, in the vectorial space constituted by these tests, the orthogonal axes that successively explained the maximum of the variance of the cluster of points corresponding to the results for each child. Because of the correlation between the tests, the first of these axes preserved a major part of the total variance. It was a kind of average of the different tests. Spearman called it *general intelligence*, or *g factor*.' Alain Desrosières, *The Politics of Large Numbers: A History of Statistical Reasoning*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1998, 145.

44 Charles Spearman, 'General Intelligence: Objectively Determined and Measured', *American Journal of Psychology* 15, no. 2 (1904): 201–92.

45 Alexander Beaujean and Nicholas Benson, 'The One and the Many: Enduring Legacies of Spearman and Thurstone on Intelligence Test Score Interpretation', *Applied*

*Measurement in Education* 32, no. 3 (2019): 198–215.

46 Thurstone, *The Vectors of Mind*.

47 See Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man*, New York: Norton, 1981. On AI as a technology of whiteness, see also Yarden Katz, *Artificial Whiteness: Politics and Ideology in Artificial Intelligence*, New York: Columbia University Press, 2020. On the racial subtext of the automation discourse, see Neda Atanasoski and Vora Kalindi, *Surrogate Humanity: Race, Robots, and the Politics of Technological Futures*, Durham, NC: Duke University Press, 2019.

48 Gerd Gigerenzer, 'From Tools to Theories: A Heuristic of Discovery in Cognitive Psychology', *Psychological Review* 98, no. 2 (1991): 258, 255.

49 Gerd Gigerenzer and Daniel G. Goldstein, 'Mind as Computer: Birth of a Metaphor', *Creativity Research Journal* 9, nos. 2–3 (1996): 138.

50 Ibid.

51 Marvin Minsky and Seymour Papert, *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*, Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

52 Already in 1960, Minsky was expressing loud scepticism about randomly connected neural networks and the logic of self-organising 'cell assemblies'. See Marvin Minsky and Oliver Selfridge, *Learning in Random Nets*, vol. 46, MIT Lincoln Laboratory, 1960. Minsky's PhD was about neural networks: 'Neural Nets and the Brain Model Problem', PhD dissertation, Princeton University, 1954.

53 Richard Forsyth, 'The Strange Story of the Perceptron', *Artificial Intelligence Review* 4, no. 2 (1990): 147–55.

54 The concept of 'operational image' has been recently used to stress the non-human dimension of such 'images'. Andreas Broeckmann, in particular, has proposed to define such images as 'optical calculus' also in the field of machine learning. Images, however, remain complex artefacts. They are never purely retinal, neural, technical, or logical, but always intrinsically social. Andreas Broeckmann, 'Optical Calculus', Images beyond Control Conference, FAMU, Prague, 6 November 2020.

55 Tom Brown et al., 'Adversarial Patch', NIPS Workshop, 2017, arxiv.org.

56 Jonathan Beller, *The Cinematic Mode of Production: Attention Economy and the Society of the Spectacle*, Lebanon, NH: University Press of New England, 2006, 2.

57 Rosenblatt, 'Two Theorems', 423–4. For a contemporary understanding of interpretation machine, see Larry Lohmann, 'Interpretation Machines: Contradictions of Artificial Intelligence in 21st-Century Capitalism', *Socialist Register* 57 (2020).

58 Michael Castelle and Tyler Reigeluth, 'What Type of Learning Is Machine Learning?', in *The Cultural Life of Machine Learning: An Incursion into Critical AI Studies*, ed. Michael Castelle and Jonathan Roberge, Berlin: Springer International Publishing, 2020.

59 For a general cartography of the AI production pipeline and its limitations, see Matteo Pasquinelli and Vladan Joler, 'The Nooscope Manifested: Artificial Intelligence as Instrument of Knowledge Extractivism', *AI and Society* 36 (2021), nooscope.ai.

**Conclusion: The Automation of General Intelligence**

1 See 'Disruption: A Manifesto', *Logic Magazine*, issue 1, March 2017.

2 Politically Mathematics collective, 'Politically Mathematics Manifesto', 2019, politicallymath.in.

3 Karl Marx, *Capital*, vol. 1, London: Penguin, 1976, 286.

4 See the labour process debate: Harry Braverman, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*, New York: Monthly Review Press, 1974; David Noble, *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, New York: Oxford University Press, 1984.

5 See Émile Durkheim, *De la division du travail social*, Paris: Félix Alcan, 1893, translated as *The Division of Labor in Society*, New York: Free Press, 1984.

6 See Kurt Lewin, 'Die Sozialisierung des Taylorsystems: Eine grundsätzliche Untersuchung zur Arbeits- und Berufspsychologie', *Schriftenreihe Praktischer Sozialismus*, vol. 4, Berlin: 1920. See also Simon Schaupp, 'Taylorismus oder Kybernetik? Eine kurze ideengeschichte der algorithmischen arbeitssteuerung', *WSI-Mitteilungen* 73, no. 3, (2020): 201–8.

7 Gaston Bachelard, *La dialectique de la durée*, Paris: Boivin & Cie, 1936, translated as *The Dialectic of Duration*, New York: Rowman & Littlefield, 2016; Henri Lefebvre, *Éléments de rythmanalyse*, Paris: Éditions Syllepse, 1992, translated as *Rhythmanalysis: Space, Time and Everyday Life*, London: Continuum, 2004. Bachelard took the term 'rhythmanalysis' from the Portuguese philosopher Lucio Alberto Pinheiro dos Santos.

8 See Frederic Sellet, 'Chaîne opératoire: The Concept and Its Applications', *Lithic Technology* 18, nos. 1–2 (1993): 106–12.

9 Gilles Deleuze, 'Postscript on the Society of Control', *October* 59 (1992); David Savat, 'Deleuze's Objectile: From Discipline to Modulation', in *Deleuze and New Technology*, ed. Mark Poster and David Savat, Edinburgh: Edinburgh University Press, 2009.

10 Matthew L. Jones, 'Querying the Archive: Data Mining from Apriori to PageRank', in *Science in the Archives*, ed. Lorraine Daston, Chicago: University of Chicago Press, 2017; Matteo Pasquinelli, 'Google's PageRank Algorithm: A Diagram of Cognitive Capitalism and the Rentier of the Common Intellect', in *Deep Search*, ed. Konrad Becker and Felix Stalder, London: Transaction Publishers: 2009.

11 Irina Kaldrack and Theo Röhle, 'Divide and Share: Taxonomies, Orders, and Masses in Facebook's Open Graph', *Computational Culture* 4 (November 2014); Tiziana Terranova, 'Securing the Social: Foucault and Social Networks', in *Foucault and the History of Our Present*, ed. S. Fuggle, Y. Lanci, and M. Tazzioli, London: Palgrave Macmillan, 2015.

12 Grégoire Chamayou, *A Theory of the Drone*, New York: New Press, 2014, ch. 5: 'Pattern-of-Life Analysis'. See also Matteo Pasquinelli, 'Metadata Society', keyword entry in *Posthuman Glossary*, ed. Rosi Braidotti and Maria Hlavajova, London: Bloomsbury, 2018; Matteo Pasquinelli, 'Arcana Mathematica Imperii: The Evolution of Western Computational Norms', in *Former West*, ed. Maria Hlavajova and Simon Sheikh, Cambridge, MA: MIT Press, 2017.

13 Andrea Brighenti and Andrea Pavoni, 'On Urban Trajectology: Algorithmic Mobilities and Atmocultural Navigation', *Distinktion: Journal of Social Theory* 24, no. 1 (2001): 40–63.

14 L. M. Giermindl et al., 'The Dark Sides of People Analytics: Reviewing the Perils for Organisations and Employees', *European Journal of Information Systems* 33, no. 3 (2022): 410–35. See also Alex Pentland, *Social Physics: How Social Networks Can Make Us Smarter*, London: Penguin, 2015.

15 The word 'statistics' originally means the knowledge possessed by the state about its own affairs and territories: a knowledge that had to be kept secret. Michel Foucault, *Security, Territory, Population: Lectures at the Collège de France 1977–1978*, trans. Graham Burchell, London: Palgrave Macmillan, 2009, 274.

16 For the influence of brain metrology on the history of AI, see Simon Schaffer: 'Judgements that machines are intelligent have involved techniques for measuring brains' outputs. These techniques show how discretionary behaviour is connected with status of those who rely on intelligence for their social legitimacy.' Simon Schaffer, 'OK Computer', in *Ansichten der Wissenschaftsgeschichte*, ed. Michael Hagner, Frankfurt: Fischer, 2001, 393–429. On early metrology of the nervous system, see Henning Schmidgen, *The Helmholtz Curves: Tracing Lost Times,* New York: Fordham University Press, 2014.

17 Luke Stark, 'Algorithmic Psychometrics and the Scalable Subject', *Social Studies of Science* 48, no. 2 (2018): 204–31.

18 Ruha Benjamin, *Race after Technology: Abolitionist Tools for the New Jim Code*, Cambridge: Polity, 2019; Wendy Chun, *Discriminating Data: Correlation, Neighborhoods, and the New Politics of Recognition*, Cambridge, MA: MIT Press, 2021.

19 For the imbrication of colonialism, racism, and digital technologies, see Jonathan Beller, *The World Computer: Derivative Conditions of Racial Capitalism*, Durham, NC: Duke University Press, 2021; Seb Franklin, *The Digitally Disposed: Racial Capitalism and the Informatics of Value*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 2021.

20 Henning Schmidgen, 'Cybernetic Times: Norbert Wiener, John Stroud, and the "Brain Clock" Hypothesis', *History of the Human Sciences* 33, no. 1 (2020), 80–108. On cybernetics and the 'measurement of rationality', see Orit Halpern, *Beautiful Data: A History of Vision and Reason since 1945*, Durham, NC: Duke University Press, 2015, 173.

21 In mechanics, the degrees of freedom (DOF) of a system such as a machine, a robot, or a vehicle is the number of independent parameters that define its configuration or state. Bicycles are usually said to have two degrees of freedom. A robotic arm can have many. A large machine learning model such as GPT can feature more than a trillion.

22 Rishi Bommasani et al., *On the Opportunities and Risks of Foundation Models*, Center for Research on Foundation Models at the Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, 2021, crfm.stanford.edu.

23 For a different reading of the automation of automation, see Pedro Domingos, *The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*, New York: Basic Books, 2015; Luciana Parisi, 'Critical Computation: Digital Automata and General Artificial Thinking', *Theory, Culture, and Society* 36, no. 2 (March 2019): 89–121.

24 Neil Thompson et al., 'Deep Learning's Diminishing Returns', *IEEE Spectrum*, 24 September 2021, spectrum.ieee.org; Neil Thompson et al., 'The Computational Limits of Deep Learning', 10 July 2020, preprint, arxiv.org.

25 See Breaking Models: Data Governance and New Metrics of Knowledge in the Time of the Pandemic, workshop, Max Planck Institute for the History of Science, Berlin, and KIM research group, University of Arts and Design, Karlsruhe, 24 September 2021, kim.hfg-karlsruhe.de/breaking-models.

26 Giorgio Agamben, *Where Are We Now? The Epidemic as Politics*, trans. V. Dani, Lanham, MA: Rowman & Littlefield, 2021.

27 See Min Kyung Lee et al., 'Working with Machines: The Impact of Algorithmic and Data-Driven Management on Human Workers', in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery, New York, 2015; Sarah O'Connor, 'When Your Boss Is an Algorithm', *Financial Times*, 8 September 2016. See also Alex Wood, 'Algorithmic Management Consequences for Work

Organisation and Working Conditions', No. 2021/07, European Commission JRC Technical Report, Working Papers Series on Labour, Education, and Technology, 2021.

28 See Daron Acemoglu (ed.), *Redesigning AI*, Cambridge, MA: MIT Press, 2021.

29 Leigh Phillips and Michal Rozworski, *The People's Republic of Walmart: How the World's Biggest Corporations Are Laying the Foundation for Socialism*, London: Verso, 2019. See also Frederic Jameson, *Archaeologies of the Future: The Desire Called Utopia and Other Science Fictions,* London: Verso, 2005, 153n22; Nick Srnicek, *Platform Capitalism*, Cambridge: Polity Press, 2017, 128.

30 See the websites turkopticon.net, exposing.ai, and politicallymath.in.

31 Sylvia Wynter, 'Towards the Sociogenic Principle: Fanon, Identity, the Puzzle of Conscious Experience, and What It Is Like to Be "Black" ', *National Identities and Sociopolitical Changes in Latin America* (2001): 30–66. See also Luciana Parisi, 'Interactive Computation and Artificial Epistemologies', *Theory, Culture, and Society* 38, nos. 7–8 (October 2021): 33–53.

32 See Frank Pasquale, *New Laws of Robotics: Defending Human Expertise in the Age of AI*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2020; Dan McQuillan, 'People's Councils for Ethical Machine Learning', *Social Media+ Society* 4, no. 2 (2018).

# Acknowledgements

This book is indebted to a ‘collective philosopher’ who contributed to its composition along multidimensional trajectories. McKenzie Wark, at the New School in New York, suggested many years ago that I initiate this project for Verso Books. Henning Schmidgen at Weimar University helped me to see, in a truly interdisciplinary way, the complex horizon of thought spanning science and technology studies, historical epistemology, French philosophy, and media studies. In the last months of its redaction, Sascha Freyberg at the Max Planck Institute for the History of Science in Berlin generously intervened to consolidate the manuscript. Special thanks go to Sam Smith, copy editor, and to George MacBeth and Patrick Riechert at the University of Arts and Design Karlsruhe, who patiently revised my non-native English and improved my nonlinear way of writing.

In the community of the historians of science and technology, I would like to thank in particular: Pietro Daniel Omodeo, Giulia Rispoli, Matthias Schemmel, Charles Wolfe, and Senthil Babu, including the Politically Mathematics collective and Verum Factum editorial collective. I thank especially students, colleagues, and alumnae of the University of Arts and Design Karlsruhe, the PhD colloquium, and the KIM research group on artificial intelligence and media philosophy: Paolo Caffoni, Céline Condorelli, Alan Diaz, Ariana

Dongus, Max Grünberg, Sami Khatib, Maya Indira Ganesh, Arif Kornweitz, James Langdon, Angela Melitopoulos, Simone Murru, Mariana Silva, Ana Teixeira Pinto, and Füsun Türetken – with a special mention to Bárbara Acevedo Strange, Sebastian Breu, Guillermo Collado Wilkins, Alex Estorick, Yannick Fritz, Vincent Herrmann, Nikos Patelis, Simon Knebl, Jason King, Lukas Rehm, Marco Schröder, Ben Seymour, and Florian Walzel for their technical, graphical, and editorial assistance.

I'm indebted to an international community of AI and media scholars with whom, in the past decade, I have been conspiring on numerous projects: Jon Beller, Claude Draude, Orit Halpern, Adam Harvey, Leonardo Impett, Daniel Irrgang, Vladan Joler, Goda Klumbyte, Oleksiy Kuchansky, Noura Al Moubayed, Fabian Offert, Ranjodh Singh Dhaliwal, Susan Schuppli, Elena Vogman, and Ben Tarnoff. And for their friendship and support: Marie-Luise Angerer, Alan Blackwell, Andreas Broeckmann, Johannes Bruder, Mercedes Bunz, Geoff Cox, Sean Cubitt, Jan Distelmeyer, Daphne Dragona, Paul Feigelfeld, Kristoffer Gansing, Francis Hunger, Joseph Lemelin, Dan McQuillan, Frieder Nake, Luciana Parisi, Jens Schröter, and Andreas Sudmann – and, in particular, Nina Franz, Rebekka Ladewig, Wolfgang Lefèvre, George Nagy, Simon Schaffer, Max Stadler, Siegfried Zielinski, and Paolo Zellini.

I thank especially the organisers of the 2020–21 Cambridge summer school 'Histories of AI: A Genealogy of Power' – Sarah Dillon, Richard Staley, Syed Mustafa Ali, Stephanie Dick, Matthew L. Jones, and Jonnie Penn – for the opportunity to present and discuss my ideas.

The 'political intelligence' upon which this book is based proceeds from a long-standing international collective of friends and comrades: Stefano Harney, Sandro Mezzadra, Toni Negri, Brett Neilson, Nikos Papastergiadis, Judith Revel, Tania Rispoli, Paolo Virno, Jamie Woodcock, and Giovanna Zapperi, among many others. For their support through all these years, I thank Marco Baravalle, Susana Caló, Manuel Disegni, Godofredo Pereira, and Gerard Hanlon.

I thank *e-flux journal* (Julieta Aranda, Amal Issa, Brian Kuan Wood, Anton Vidokle) and the House of World Cultures in Berlin (Anselm Franke, Bern Scherer) for their hospitality across several projects. And, among the many friends of the art community: Elena Agudio, Dorothee Albrecht, Marwa Arsanios, Defne Ayas, Sean Dockray, Gean Moreno, Fiona Geuss, Natasha Ginwala, Nathan Gray, Christoph Gurk, Tom Holert, Iman Issa, Sven Lütticken, Antonia Majaca, Agnieszka Polska, Johannes Paul Raether, Natascha Sadr Haghighian, Caleb Waldorf, Clemens von Wedemeyer, and Khadija von Zinnenburg Carroll.

This book acknowledges also the fellows, colleagues, and employees of the Staatsbibliothek of Berlin, with whom I invisibly crossed paths for many years, upholding our vow of silence. I thank especially the staff of the library for their support during the COVID-19 pandemic. This book is sincerely addressed to all the ghost workers, bikers, drivers, and coders of the gig economy on the front line of the algorithmic division of labour.

The research of this book was initiated well before my son Giotto was born and finished long after. It was made materially and maternally possible also thanks to the love and care of Wietske on the battlefield of our domestic labour. For Giotto, Wietske, and friends, I venture into the engine rooms of these technological abstractions hoping to spare everyone the need of similar alienating adventures in the future. This book is dedicated to my mother, Anna, who had the strange idea to teach me writing and counting before I started school. It was further exercises in that working-class 'kitchen maths' that, I believe, four decades later, led me to study the progress of these vast social algorithms.

# Index

Abraham, Tara, 165
abstract energy, 123
abstract time, 125, 203
abstraction, 13, 24, 30–2, 34–40, 47, 67–8, 91, 109, 120, 169, 172, 174, 181, 190, 194, 201–4, 215–16, 221, 256
    of labour, 121, 125. *See also* labour
    material, 16, 40, 238
    real, 201–2
    reflective, 35–6
Adam, Alison, 10
Agamben, Giorgio, 250
Agar, Jon, 11
Agnicayana, 16, 23–6
Agre, Philip, 10
Alexandre de Villedieu, 41
AlexNet (convolutional neural network), 14, 216, 231
algorithm, 2–3, 6, 10, 12–13, 16, 20, 22–31, 33, 36–7, 40–8, 53, 55–8, 60, 66–70, 73, 94, 104, 130, 134–5, 143, 150–1, 155, 163, 165–6, 168, 198–9, 201, 213–15, 217, 219–20, 222–3, 231–8, 241–3, 245–7, 249–53, 256
    *algorismus*, 40–1, 48
    classifier, 183, 191, 234
    definition of, 16, 26, 29, 47
    master, 9, 248
    labour as, 16
    social, 4, 28, 238, 253, 256
    training, 213–15, 223, 231

algorithmic culture, 26
algorithmic management, 250–251
algorithmic thinking, 13, 16, 23, 66, 70, 253
alienation, 17, 18, 86, 100, 105, 108–9
al-Khwarizmi, Muhammad ibn Musa, 41
Alquati, Romano, 13–14, 119, 121, 126–9
Altenried, Moritz, 6
Althusser, Louis, 102
Analytical Engine, 17, 45, 54, 58, 67–73, 76
Anaximander, 202
Anaximenes, 202
artificial intelligence (AI), 1–3, 6–15, 17–22, 27, 47, 52–3, 68, 72, 76, 79, 93–4, 100, 130, 134, 136–7, 146, 151–2, 154–6, 158–60, 164, 166, 169, 175–6, 183, 196, 198, 201, 206, 217–20, 222, 224–5, 227, 229–30, 232, 234–6, 238, 240–1, 244–7, 249–53
  history of, 8–14
Asaro, Peter, 143
Ash, Mitchell G., 162
Ashby, Ross, 140–1, 206, 221
Ashley, Mike, 97
Ashworth, William J., 76
Aspromourgos, Tony, 62
Atanasoski, Neda, 8, 229
Automatic Computing Engine (ACE), 7
automation, 2, 8–9, 14–17, 20–2, 45, 48, 53, 58, 64, 68, 70, 94, 96, 102, 122, 129, 135, 141, 143, 147, 154, 156–60, 162–4, 199, 207, 225–7, 229–30, 233–6
  labour theory of, 6, 11, 22, 239–40, 243, 245–8, 250–3. *See also under* labour theory
  of management, 8, 149, 236, 250–1
  of mental labour, 16–17, 139, 154, 197, 233
  of visual labour, 17

Babbage, Charles, 4–6, 9, 14, 17–18, 45, 51–69, 71–6, 81, 83, 88, 94, 98, 103–6, 109, 114, 116, 118–20, 139, 153, 191, 197–8, 225, 239, 241, 243, 246
Babbage, Henry P., 66
Babbage principle, 14, 34
Babbage's mechanical notation, 66–8, 74
Babu, Senthil, 27
Bachelard, Gaston 13, 241–2
Bajohr, Hannes, 164
Ballard, J. G., 134
Barnes, Barry, 82
Bates, David, 176, 179, 187, 196
Baum, Joan, 68
Beamish, Rob, 18
Beaujean, Alexander, 228
Beer, Stafford, 149

Bell, Bill, 97
Beller, Jonathan, 5, 233, 245
Benanav, Aaron, 21
Beniger, James, 124, 126, 159, 240
Benjamin, Ruha, 10, 245
Benson, Nicholas, 228
Berg, Maxine, 79–82, 87, 89, 114
Bernoulli, Daniel, 45, 69
BERT (language model), 247
Big Data, 10, 12, 55, 199, 235, 242
Binet, Alfred, 224, 244
Black, Edwin, 53
Block, H. D., 216
Blum, Harold Francis, 92
Boden, Margaret, 10, 19, 134, 146
Bommasani, Rishi, 248
Boncompagni, Baldassarre, 41
Boolean logic, 46, 136, 166
Bostrom, Nick, 9, 249
Bowden, Bertram, 68
Brake, Laurel, 97
Brautigan, Richard, 157
Braverman, Harry, 5, 13–14, 119–20
Brighenti, Andrea, 243
Brougham, Henry, 81
Brown, Elspeth, 5
Brown, Tom, 232
Bruderer, Herbert, 220
Bücher, Karl, 32
Büchner, Georg, 99
Buxton, Harry Wilmot, 55
Byron, George Gordon (Lord Byron), 68–9

Caffentzis, George, 18
calculus, differential, 26–7, 43, 69, 164, 194, 215
Canguilhem, Georges, 13, 179, 187
Cannon, Walter Bradford, 141
Cardon, Dominique, 14
Carlyle, Thomas, 81
Cassirer, Ernst, 32
Castelle, Michael, 137, 235
Chabert, Jean-Luc, 16, 26, 30–1, 43, 47
*chaîne opératoire* (operational chain), 25, 242
Chamayou, Grégoire, 243

Chollet, François, 164
Chronocyclegraph, 5
Chun, Wendy Hui Kyong, 10, 245
Clark, William, 9, 214
Clarke, Bruce, 13
classification, 14, 20, 117, 162–3, 166, 168, 183, 191–2, 194–8, 204, 207–10, 212, 216, 222–5, 230, 234
CLIP (image-language model), 247
Codex (language model), 247
Cohen, Hermann, 28
Cointet, Jean-Phillipe, 14
Colebrooke, Henry, 52
computing network, 51, 147, 150, 168, 184, 209, 213, 222
connectionism, 15, 17, 19–20, 134, 141, 149, 151, 169, 182–6, 191, 196, 198, 200, 202, 241
  deconnectionism, 251
  Gestalt, 196
  logical, 197
  mercantile, 185
  statistical, 197
Copeland, B. Jack, 7, 20, 140
Crossley, John N., 41
cultural techniques (*Kulturtechniken*), 31, 103
cybernetics, 10–11, 14, 17, 19, 74, 121–2, 126–9, 135–7, 139–40, 147, 149, 152–60, 162, 164, 168, 171–3, 176, 179, 183–4, 187, 194, 196, 221, 227–8, 234, 241, 246
Cyclogram, 5

D'Alembert, Jean le Rond, 43
Damerow, Peter, 13, 24, 34–40, 43, 48, 89, 91, 120, 202
Daston, Lorraine, 3, 4, 17, 24, 55, 57, 59, 68, 108, 242
de Prony, Gaspard, 4, 45, 53, 55–7, 60
De Vecchi, Nicolò, 193
deep learning, 14–15, 20, 134, 137, 150, 162, 164–5, 169, 178, 215–17, 219, 231, 235, 247, 249
Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA), 26
Deleuze, Gilles, 32, 102, 242
Descartes, René, 45
Desrosières, Alain, 228
Di Iorio, Francesco, 186
diaschisis, 187
Dick, Stephanie, 219
Difference Engine, 14
Domingos, Pedro, 9, 248
Dotzler, Bernhard, 18
Dreyfus, Stuart, 14–15, 152

Dreyfus, Hubert, 10, 14–15, 152
Du Bois-Reymond, Emil, 133, 137
Dupuy, Jean-Pierre, 196
Durkheim, Émile, 6, 240
Dyer-Witheford, Nick, 101

Eddington, Arthur Stanley, 92
Edwards, Paul, 10
Electronic Profile Analyzing Computer (EPAC), 225
Engels, Friedrich, 4, 77–8, 99
Ensmenger, Nathan, 29
epistemic colonialism, 27
epistemology, 11, 15, 181, 182, 195, 198, 202
    cybernetic, 154
    experimental, 218
    feminist, 13
    genetic, 34, 38,
    historical, 12–13, 34, 39, 84, 92, 154
    political, 13, 39, 201, 253
Erickson, Paul, 11, 146, 185
Essinger, James, 69

factory, 5, 8, 52, 58, 63–4, 74, 76, 78, 85, 107, 110, 117, 157, 191, 239, 246
    automated, 128
    computer, 14, 126–7
    cybernetic, 149
    digital, 17
    social, 128
Fanon, Frantz, 252
Farley, B. G., 147, 214
Federici, Silvia, 13
Fein, Louis, 199, 217
Feldhay, Rivka, 66
Ferguson, Adam, 111
Fibonacci, 41
Finkelstein, David, 97
Fisher, Roland, 226, 229
Forsyth, Richard, 231
Forsyth, George, 155
Foucault, Michel, 4, 179, 187, 242, 244
Francis, Jo, 71, Franklin, Seb, 245
Fuegi, John, 71
Fukushima, Kunihiko, 216

Gaia hypothesis, 138

Galilei, Galileo, 90,
Galison, Peter, 92, 175
Galloway, Alex, 144
Galton, Francis, 229
Garvey, Shunryu, 146
Gastev, Aleksei, 5
general intellect, 5, 18–19, 83, 85, 88, 95–6, 98–105, 110, 112, 116–19, 190, 239, 244–5, 248
General Problem Solver, 31
general purpose computer, 70
general worker (*Gesamtarbeiter*), 19, 88, 94, 99, 116–17, 121, 191, 239–40
Geoghegan, Bernard, 9, 129
Gerovitch, Slava, 185
Gestalt perception, 38
  isomorphism in, 169, 171–2
  *Prägnanz* principle in, 163–4
ghost workers, 8, 21, 256
Gibson, William, 182
Giedion, Sigfried, 5
Giermindl, L. M., 243
Gigerenzer, Gerd, 226–7, 229
Gilbreth, Frank, 5
Gilbreth, Lillian, 5
Gödel, Kurt, 46
Goethe, Johan Wolfgang von, 193
Goldstein, Daniel, 229,
Goldstein, Kurt, 172, 179, 184, 187–90, 221–2
Golinski, Jan, 9
GoogleNet (convolutional neural network), 231
Gould, Stephen Jay, 21, 229
GPT (Generative Pre-trained Transformer), 213, 219, 232, 247
Grab, Walter, 99
Graeber, David, 21
Gramsci, Antonio, 1, 12
Grattan-Guinness, Ivor, 56, 68
Gray, Mary, 8
Grossmann, Henryk, 13, 45, 92, 107
Guattari, Felix, 32, 102

Hadden, Richard, 11
Haigh, Thomas, 165
Halpern, Orit, 246
Hancher, Michael, 97
Harding, Sandra, 13

Hardt, Michael, 101, 204
Hartley, Ralph V., 129
Harvey, Adam, 252
Haug, Wolfgang Fritz, 103
Hawkins, Andrew J., 3
Hay, John, 212
Hayek, Friedrich, 20, 148–9, 159, 181–204, 219, 221, 241, 243
Heath, William, 96–7
Hebb, Donald, 141–3, 150, 183, 206, 212, 221
Hebbian rule, 142, 143, 212, 206
Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, 36–8, 99, 121, 124–5, 202–3, 239
Heims, Steve, 136, 162, 164, 168, 171
Heinrich, Michael, 101, 118, 163
Hellebust, Rolf, 5
Helmholtz, Hermann von, 137–8, 244
Henry, Alan S., 41
Herschel, John, 75–6
Herzog, Don, 97
Hessen, Boris, 13, 45, 92, 107
Hinton, Geoffrey, 14
history of science and technology, 12, 27, 92, 106
Hodgskin, Thomas, 18, 75, 84, 86–8, 93, 98–9, 108–9, 113–15, 119, 239
Hof, Ebbe C., 187
Hoffmann, Christoph, 137
Hollerith machine, 11
homeostat, 140–1, 206
Hubel, David, 175, 216
hyperplane, 222–3

IBM 704, 210–11
ImageNet (training dataset), 14, 134
information, 3, 11, 19, 29, 46–7, 53–4, 100, 120, 121–30, 139–40, 148, 154–5, 184, 198
    self-organising, 134–7, 150–2
intelligence
    general, 21, 228, 232, 237, 243–5
    quotient of (IQ), 21, 228
    statistical, 223
    superintelligence, 9, 159, 249
Irani, Lilly, 8, 252

Jackson, Hughlings, 170
Jacquard loom, 53, 73, 124
Jameson, Fredric, 120, 200, 252
Joler, Vladan, 236
Jones, Matthew L., 11–12, 58–9, 223, 242

Kaldrack, Irina, 242
Kalindi, Vora, 8, 229
Kang, Minsoo, 52
Kant, Immanuel, 32, 34, 138–9
Katz, Yarden, 10, 12, 24, 229
Keller, Evelyn Fox, 13, 139
Killen, Andreas, 179
Kittler, Friedrich, 11, 155
Kline, Ronald R., 140, 154
Klüver, Heinrich, 163, 166
Knight, Bruce, 216
Knuth, Donald, 28–9, 155
Koffka, Kurt, 162, 170
Köhler, Wolfgang, 162–4, 166, 169–73, 178
Krämer, Sybille, 31, 43
Krizhevsky, Alex, 14
Kurenkov, Andrey, 215

labour, 2–9, 12–14, 18–19, 21, 25, 32, 35, 39, 47, 51–5, 59, 62–3, 65, 67, 74–7, 79–80, 82–3, 85–90, 93–4, 98–100, 102–10, 112–30, 135, 154, 158–9, 186, 191, 202–20, 237–40, 243–53
  abstract, 99, 119, 124–5, 203–4, 239
  automation of, 11, 16, 22, 64, 68, 135, 154, 230, 232–3, 236, 239, 245–8, 252
  calculation, principle of, 59, 62. *See also* Babbage principle
  cognitive, 1, 110
  concrete, 203
  division of, 4, 6–7, 17–18, 51, 54, 57, 59, 62–4, 67, 76, 78, 82–3, 88–90, 103–8, 116, 118–19, 122, 124–7, 190–1, 202, 204, 239, 243, 248, 251
  immaterial, 103
  knowledge, 103
  as logic, 3
  manual, 16–17, 58, 78, 80, 83–4, 88–90, 93, 103, 113, 201, 233
  mental, 16–17, 21, 25, 48, 52–3, 57, 59, 63–4, 66, 76, 83–4, 87–8, 93–4, 98–100, 108, 114, 116, 119, 130, 139, 197–8, 233–4, 246; demonisation of, 87
  of perception; of supervision; visual, 4, 17, 233
  social, 1, 6, 103, 110, 113, 129, 240
labour theory
  of automation, 17, 59, 63, 65, 104–5, 116, 120
  knowledge theory of labour, 83–8
  of knowledge, 88, 119
  of machine intelligence, 120
  of value, 6
Ladewig, Rebekka, 2
Lange, Oskar, 186, 199–201
Lardner, Dionysius, 74

Lashley, Karl, 163, 179, 188
Latour, Bruno, 117
Lazzarato, Maurizio, 101
Lebovic, Nitzan, 179
LeCun, Yann, 178, 216
Lee, Min Kyung, 251
Lefebvre, Henri, 241–2
Lefèvre, Wolfgang, 24, 39–40, 43, 91, 120, 255
Leibniz, Gottfried Wilhelm, 27, 42–3, 45–6, 58, 69, 166, 241
LeNet (convolutional neural network), 216
Leroi-Gourhan, André, 25, 242
Lettvin, Jerome Y., 173, 175
Lewin, Kurt, 241–2
Libbrecht, Elizabeth, 15
Light, Jennifer, 73
Logic Theorist, 31
Lovelace, Ada, 45, 54, 68–73
Lovelock, James, E., 138
Luchins, Abraham, 171
Luchins, Edith, 171
Luhmann, Niklas, 158
Lynch, Ben, 212

Mach, Ernst, 193
machine learning, 9, 12, 15, 19–20, 27–8, 47–8, 73, 94, 134–8, 148, 151, 155, 160, 163–4, 166, 176, 183, 191, 196, 212, 222–3, 226, 232, 234–6, 238, 243, 245, 247–9, 252
Machinery Question, 17, 63, 76–89, 93–4, 98, 100, 103, 114, 116, 122
Macho, Thomas, 30–1
MacKenzie, Donald, 101, 107
Maier, Charles S., 5
Malm, Andreas, 122–3
Marazzi, Christian, 100
Marcuse, Herbert, 102, 158
Marx, Karl, 1, 6, 18–19, 67, 75, 78, 82–6, 88–9, 93–120, 125–6, 190–1, 201–3, 233, 238–9
Mason, Paul, 101
master (factory's master) 1, 4–6
    eye of the, 4–6
Maturana, Humberto, 173
Mazières, Antoine, 14
McCarthy, John, 15, 134, 155, 163–4
McCulloch, Warren, 19–20, 134–7, 148, 153–5, 161–75, 177, 181, 183, 191, 193, 196, 212, 218, 221, 246
McNaughton, Robert, 47
McQuillan, Dan, 252,

means of production, 82, 92, 107, 113, 124, 127–8, 154, 239
Mechanical Turk, 81
Amazon, 8, 9
Medina, Eden, 149
Menabrea, Luigi, 54, 69
Mezzadra, Sandro, 6, 119
Milbanke, Anne Isabella, 69
mindful hand, 2, 59, 89–90
Minsky, Marvin, 151, 216, 221, 230–2
Mirowski, Philip, 184, 187, 190
Mirzoeff, Nicholas, 4
Mises, Ludwig von, 186
Monakow, Constantin von, 179, 184, 187–8
Moore, Doris L., 69
Morse, Samuel, 137
Mumford, Lewis, 32
Murray, Albert, viii, 208–9
Musk, Elon, 3
Musto, Marcello, 101

Negri, Antonio, 101–2, 120, 204
Neilson, Brett, 6, 119
Neisser, Ulric, 162, 194
neocognitron (convolutional neural network), 216
neural networks, 2–3, 14–15, 17, 19–21, 27, 47, 53, 134–7, 141, 143, 146, 148–52, 154, 159, 162–6, 168, 170, 175–6, 178–9, 183, 185–6, 188, 191–6, 198, 204–7, 209, 211–12, 215–21, 223, 226–7, 229–32, 234–5, 241, 244–6, 249
convolutional, 14, 15, 175–6, 231, 235
neural telegraph, 133, 137
Newell, Allen, 146
Newton, Isaac, 27, 69, 92
Neyman, Jerzy, 229
Nicolaus, Martin, 101
Nik-Khah, Edward, 184, 187, 190
Nilsson, Nils John, 9, 163
Noble, David, 239
Noble, Safiya Umoja, 10

O’Connor, Sarah, 251
O’Neil, Cathy, 10
Olenina, Ana Hedberg, 5
Olivetti
Elea 9003, 126
factory, 126–7
Omodeo, Pietro Daniel, 13

OpenGraph protocol, 242
Otis, Laura, 133, 137
Owen, Robert, 97–8, 108
Owenism, 84–5, 110

Panzieri, Raniero, 101, 160
Papert, Seymour, 151, 216, 230–2
Parisi, Luciana, 248
Pascal, Blaise, 45, 58
Pask, Gordon, 147–8
Pasquale, Frank, 252
pattern, 8, 14, 24, 53, 73, 124, 144–5, 147, 150, 163, 170, 174, 180, 191, 193–6, 203, 210, 212, 216–17, 223–5, 230, 241, 243, 245, 247, 251
  recognition, 14–15, 17, 20, 47, 146, 148, 150, 161–5, 168, 174, 180, 182–3, 185, 193–6, 209, 213, 216, 218, 222–4, 227, 233–5, 240, 245
Pavoni, Andrea, 243
Pearson, Egon, 229
Penn, Jonathan, 224–5
Pentland, Alex, 243
perceptron, 8, 15, 19–21, 143, 150, 162, 179, 183, 188, 192, 198, 222–7, 229–35, 244–7
  Mark I Perceptron, 150, 210–13, 216, 222, 225, 231
  phonoperceptron, 207
  photoperceptron, 207
  radioperceptrons, 209
Phillips, Leigh, 200, 252
Piaget, Jean, 35–8, 202
Pickering, Andrew, 92
Pinheiro dos Santos, Lúcio Alberto, 242
Pitts, Walter, 19–20, 134–7, 148, 153–5, 161–75, 177, 181, 183, 191, 193, 196, 212, 218, 221, 246
Plofker, Kim, 25
Polanyi, Michael, 189
Pollock, Frederick, 53
Prajapati, 24–5
Priestley, Mark, 67, 74, 165–6
Prigogine, Ilya, 138
Proudhon, Pierre-Joseph, 89, 105
Pryor, Nicholas, 207, 210, 216
punched card, 11, 53–4, 124, 193, 210
purusha, 25

Rabinbach, Anson, 79, 88
Ramasubramanian, K., 24
Rashevsky, Nicolas, 221
Reigeluth, Tyler, 235

Reisch, Gregor, 42
relations of production, 78, 82, 107, 154, 203, 239
relative surplus value, 104–5, 115–16, 118, 239
Renn, Jürgen, 13, 25, 48, 66, 202
ResNet-50 (convolutional neural network), 231
Ricardo, David, 80, 84
Riese, Walther, 187
Rishi, 25
Roberts, Lissa, 2, 89–90
Robinson, Cedric, 78
Röhle, Theo, 242
Rose, Hilary, 13
Rosenblatt, Frank, 15, 19–20, 141, 143, 148, 150–1, 164, 176, 179, 183, 188, 192, 197–8, 205–7, 209–11, 213–14, 216–27, 230–1, 234–5, 244, 247
Rosenblueth, Arturo, 139
Rossini, Manuela, 13
Rowe, William D., 163
Rozworski, Michal, 200, 251
Ryle, Gilbert, 189

Sacrobosco, Johannes de, 41
Sahlins, Marshall, 31
Salazar Sutil, Nicolás, 5
Samuel, Arthur, 20, 155
Savat, David, 242
Sawyer, Mellon, 10
Schaffer, Simon, 2, 9, 17, 52, 54, 59, 65–6, 73–4, 81, 89–90, 100, 104, 109, 120, 133, 153, 206, 227, 244
Schaupp, Simon, 241
Scheerer, Martin, 190
Schemmel, Matthias, 13
Schmidgen, Henning, 2, 13, 92, 99, 117, 122, 244, 246
Schrödinger, Erwin, 143
Schulz, Wilhelm, 98–9
science and technology history, 12, 27, 92, 106
self-driving vehicle, 1, 3, 235, 247
Selfridge, Oliver G., 151, 162, 194
Sellet, Frederic, 25, 242
Sennett, Richard, 2
Shanker, Stuart G., 158
Shannon, Claude, 46, 58, 136, 140, 155, 198, 241
Shapin, Steven, 82
Shaw, Cliff, 146
Shell, Marc, 201

Shulba Sutras, 24–5, 27
Silberman, Michael Six, 8
Simon, Herbert, 146, 153
Simondon, Gilbert, 121–3
Sloterdijk, Peter, 90
Smith, Adam, 4, 6, 55, 62, 86, 104, 111, 124, 239
Smith, Crosbie, 64, 75–6
Smith, David, 212
Smith, Hawkes, 82
Smith, Tony, 101
social constructivism, 12
social informatics, 12
sociotechnical history, 12
Sohn-Rethel, Alfred, 124, 201–2
Spearman, Charles, 21, 224, 228–9, 244
Sprenger, Florian, 3
Sriram, M. S., 26
Srnicek, Nick, 251
statistics, 6, 152, 220–3, 226, 228–9, 243–4
    automation of, 243, 248
    intuitive, 226, 229
    psychometrics, 21–2, 224–9, 235, 243–6
steam engine, 39, 52, 56, 75, 77, 91–2, 96, 107, 116, 122–4, 233, 239
    Watt’s steam governor, 124
Staal, Frits, vii, 23, 25–6
Stark, Luke, 245
Stöcklein, Ansgar, 52
Suri, Siddharth, 8
Sutskever, Ilya, 14
Swade, Doron, 67, 71
Syenaciti, 24, 26

Taylor, Frederick Winslow, 5
Taylorism, 5, 104, 241
technopolitics, 253
Terman, Lewis, 21, 224
*Terminator, The*, 9
Terranova, Tiziana, 242
Teuber, Hans Lukas, 154
Teuscher, Christof, 134
Thales, 202
Thompson, Neil, 248
Thompson, William, 18, 75, 84–8, 93, 95, 98, 110–11, 114, 119
Thurstone, Louis Leon, 224–5, 228, 244

Tronti, Mario, 128–9, 159–60
Truitt, Elly Rachel, 9
Turing, Alan, 7–8, 19–20, 53, 58, 134, 139, 143–6, 152, 165–6, 170, 176, 198, 227, 241, 251
Turing machine, 19, 53, 143, 152, 165–6, 176, 198
Turkopticon, 8, 252
Turner, Fred, 156–7

Universal Constructor, 142–3
Ure, Andrew, 7–8
Uttley, Albert, 221

Vapnik, Vladimir, 222
Vercellone, Carlo, 101
Virilio, Paul, 162, 233
Virno, Paolo, 100–3
von Neumann, John, 19, 46, 58, 142–3, 153, 161, 163–6, 176–81, 188, 198, 211, 220–1
Vora, Kalindi, 8, 229
Voskhul, Adelheid, 9
Vygotsky, Lev, 235

Walter, Grey, 141
Wark, MacKenzie, 101
Watt, James, 123–4
Wendling, Amy E., 18
Wertheimer, Max, 32, 162, 169
Wiesel, Torsten, 175, 216
Wiggins, Chris, 11–12
Wing, Jeannette M., 23, 66
Winner, Langdon, 10, 13, 138
Winthrop-Young, Geoffrey, 11, 31, 155
Wise, Norton, 64, 75–6
Wolfe, Charles, 160
Wood, Alex, 251
Woodcock, Jamie, 14
Wynter, Sylvia, 252

Yovits, Marshall, 146–8, 151, 205–6
Yu Mingyi, 40

Zellini, Paolo, 25–7
Zilsel, Edgar, 90
Zuboff, Shoshana, 12
Zuse, Konrad, 143–4